www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

2e JAARGANG NUMMER 3 MAART 1937

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

ELECTROLYTISCHE CONDENSATOREN

door W. CH. VAN GEEL en A. CLAASSEN.

Samenvatting. In dit artikel worden de eigenschappen van electrolytische condensatoren behandeld en de principes aangegeven, waarop hun werking berust. Eenige uitvoeringsvormen van electrolytische condensatoren voor verschillende toepassingsgebieden worden beschreven.

Inleiding

Het is reeds tientallen jaren bekend, dat men verschillende metalen, zooals aluminium, tantaal, niobium, zirkoon, titaan, langs electrolytische weg met een oxydhuid kan bedekken. Men brengt daartoe een van deze metalen in een electrolyt, bijv. aluminium in een oplossing van natriumphosphaat, en zendt er daarna een stroom door, zoodanig dat het Al de positieve pool vormt *(fig. 1)*.

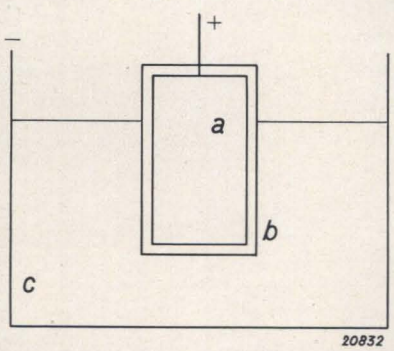


Fig. 1. Schema van een electrolytische condensator. *a* is de aluminiumplaat. *b* is de sperlaag van aluminiumoxyd. *c* is de electrolyt.

Aan deze positieve pool ontwikkelt zich zuurstof, die het aluminium doet oxydeeren. De op het aluminium gevormde, dunne oxydhuid (Al_2O_3) vormt een zeer hooge weerstand tegen het verder doorgaan van de stroom, zoodat de stroom vermindert. Bij een constant gehouden aangelegde spanning nadert de stroom door het systeem na eenige tijd tot een bepaalde minimum waarde (lekstroom). Een dergelijke cel kan nu als condensator gebruikt worden met de aluminiumplaat *a* als positieve en de electrolyt *c* als negatieve electrode, waartusschen het oxydhuidje *b* een zeer dun diëlectricum vormt, zoodat de capaciteit betrekkelijk groot kan zijn.

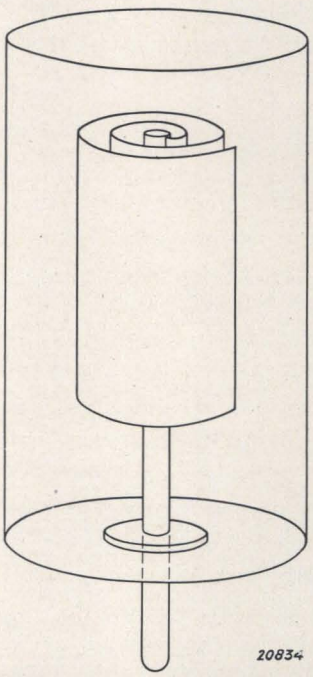


Fig. 2. Electrolytische condensator, waarin een der electroden bestaat uit een spiraalvormig opgewonden stuk aluminiumband.

Vroeger gelukte het nooit, de lekstroom zoo klein te maken, dat de warmte-ontwikkeling in het electrolyt te verwaarloozen was. Deze bedroeg bijv. 2 watt voor een condensator met ongeveer 50 cm^3 electrolyt, waardoorheen bij een spanning van 200 volt een lekstroom van 0,01 A vloeide. Dit beteekende dus een warmte-ontwikkeling van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

ongeveer 0,5 cal per sec bij een warmtecapaciteit van 50 cal, zoodat een dergelijke condensator in 1 min ongeveer $^1/_2$ °C warmer werd.

Eerst na de opkomst van de radio-industrie werden door het onderzoek in verschillende industrie-laboratoria geschikte middelen gevonden om de bovengenoemde minimumstroom voldoende, klein te maken, bijv. kleiner dan 1 mA.

Omstreeks 1930 begonnen de electrolytische condensatoren ingang te vinden voor de radio. Zij worden zoo uitgevoerd, dat een groot aluminium oppervlak van een of andere vorm, bedekt met een zeer dun laagje aluminiumoxyd, zich bevindt in een electrolyt (veelal boorzuur met een toegevoegd boraat), terwijl het geheel opgesloten is in een busje *(fig. 2)*.

Eigenschappen van de electrolytische condensator

We willen eerst de verschillende eigenschappen van de electrolytische condensator beschouwen. De electrolytische condensator heeft een hooge capaciteit. De dikte d van het oxydhuisje, waarmee het aluminium bedekt is, is zeer klein (ca. 10^{-5} cm), de diëlectrische constante k van het gevormde Al_2O_3 is hoog (ca. 10). Berekent men met deze gegevens de capaciteit c per cm², dan vindt men

$$c = \frac{k}{4\ \pi\ d} = \frac{10}{12{,}6\ 10^{-5}} = 8{\cdot}10^4 \text{ cm}.$$

Voor een aluminiumoppervlak van 100 cm² heeft men dus reeds een capaciteit van ca. 8 μF. We zullen later nog nader aangeven, hoe de dikte van het oxydhuidje d afhangt van de gebruikte spanning bij het formeeren van de condensator.

De electrolytische condensator kan slechts bij één richting van de spanning gebruikt worden. Het aluminiumlichaam moet steeds met de positieve pool van de aangelegde spanning verbonden zijn, het huis van de condensator, d.i. dus eigenlijk de electrolyt, moet steeds negatief zijn. Bij deze stroomrichting gaat er steeds een kleine stroom door de condensator. Het is dus, alsof de condensator lekt, alsof een weerstand met de condensator parallel geschakeld is. Deze weerstand is afhankelijk van de spanning. Keert men de richting van de stroom om, dan loopt er een groote stroom door de condensator en is deze als zoodanig onbruikbaar.

We zien dus, dat het systeem gelijkrichter-eigenschappen heeft. De condensator verschilt dan ook in principe niet van de reeds lang bekende electrolytische gelijkrichter.

We zagen reeds, dat de zg. condensatorbekleedsels gevormd worden door het aluminium en de electrolyt. Nu heeft een electrolyt een soortelijke weerstand, die ten opzichte van de soortelijke weerstand van metalen groot is (van de orde van grootte van 100 Ω · cm). Het condensatorbekleedsel, gevormd door de electrolyt, heeft dus een zekere weerstand. Deze weerstand staat in serie met de condensator.

Verhoogen wij bij een condensator van het gewone type, bijv. een mica-condensator, de aangelegde spanning, dan treedt doorslag op. Wat gebeurt er nu bij een electrolytische condensator? Indien we hier de spanning tusschen aluminiumlichaam en electrolyt steeds hooger opvoeren, beginnen bij een bepaalde spanning vonkjes over te springen tusschen electrolyt en aluminium. De lekstroom, die reeds tijdens het opvoeren van de spanning aangroeide, neemt, zoodra het vonken begint, sterk toe.

Het „vonken" is een analoog verschijnsel als de doorslag bij een gewone condensator met dit belangrijke verschil, dat bij een electrolytische condensator deze doorslag geen funeste gevolgen heeft. De optredende vernieling van het diëlectricum wordt oogenblikkelijk weer hersteld door de gelijktijdig optredende zuurstofontwikkeling tengevolge van de lekstroom.

Indien we een electrolytische condensator door een schema willen weergeven, kunnen we dit als volgt doen *(fig. 3)*. C is een condensator van dezelfde capaciteit als de electrolytische condensator. De condensatorplaat a stelt het aluminiumlichaam voor; het diëlectricum o de huid van aluminiumoxyde. De plaat b stelt de electrolyt

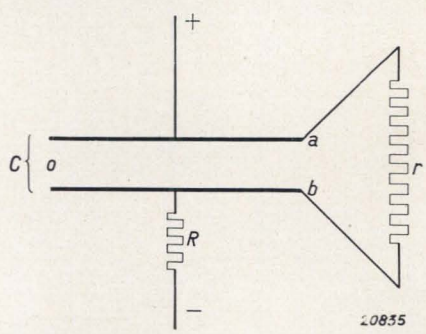


Fig. 3. Vervangingsschema voor de electrolytische condensator. a is de aluminiumelectrode, o het door de oxydhuid gevormde diëlectricum van de condensator C en b de andere electrode, die door de electrolyt wordt gevormd. r is de weerstand van de sperlaag, die aan de capaciteit C parallel staat, terwijl R de weerstand voorstelt van de electrolyt, die in serie staat met de condensator C.

voor, waarvan de weerstand in serie met de condensator de waarde R heeft. Tusschen de condensatorplaten a en b ligt een weerstand r, die met de lekstroom correspondeert en afhankelijk is van de spanning en bij toenemende spanning daalt.

Gewoonlijk wordt de electrolytische condensator

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

gebruikt in ketens, waarin een betrekkelijk kleine wisselspanning gesuperponeerd is op de gelijkspanning. Bij de beschouwing van deze wisselspanning kunnen we de weerstand r verwaarloozen. Behalve met de weerstand R van de electrolyt, welke onafhankelijk is van de frequentie, moeten wij feitelijk nog rekening houden met de verlies-weerstand in de oxydlaag. Deze verliezen in de oxydlaag zijn afhankelijk van de frequentie en wel varieert de tangens van de verlieshoek van de condensator (de electrolytweerstand dus buiten beschouwing gelaten) van ongeveer 2 % bij 50 Hz tot ongeveer 6 % bij 1000 Hz. De diëlectrische verliezen in de sperlaag zijn dus klein en worden veelal verwaarloosd. De capaciteit van de condensator is vrijwel onafhankelijk van de frequentie; in het gebied van 50 - 1000 Hz varieert zij niet meer dan 5 %.

Verklaring van de werking der electrolytische gelijkrichting

Het feit, dat de combinatie Al — aluminiumoxydhuid — electrolyt de stroom in de beide mogelijke richtingen in verschillende mate doorlaat, kunnen we op de volgende wijze verklaren. We zagen reeds, dat de oxydhuid zeer dun is en wel van de orde van grootte van 10^{-5} cm. Ligt dus tusschen aluminiumlichaam en electrolyt een spanning van 100 volt, dan is de veldsterkte in het diëlectricum ca. 10^7 V/cm. Bij dergelijk hooge veldsterkten treedt steeds het verschijnsel van „koude emissie" op, d.w.z. de negatieve electrode gaat electronen emitteeren.

Beschouwen we nu eens even twee vlakke metalen electroden, waartusschen een zoo hooge veldsterkte (F) heerscht, dat de negatieve electrode electronen emitteert, dan blijkt, dat deze electronenstroom (i) beschreven kan worden door de formule

$$i = AF^2 e^{-\frac{B}{F}},$$

waarin A en B materiaalconstanten zijn.

Wij veronderstellen nu, dat de eene plaat a gemakkelijker electronen afgeeft dan de andere plaat b. Dit wil zeggen, dat bij een aangelegde wisselspanning in de eene halve periode de stroom beter doorgelaten wordt dan in de andere helft, en wel zoo, dat gedurende de halve periode, waarin de plaat, die het rijkelijkst electronen uitzendt, negatief is, de grootste stroom loopt.

Om gelijkrichting te krijgen is het dus noodig, dat er een isoleerende laag van geringe dikte is (sperlaag) en dat deze sperlaag begrensd wordt door twee stoffen, die in zeer verschillende mate in staat zijn, electronen uit te zenden. Maken we de stof, die het gemakkelijkste electronen uitzendt, negatief, dan loopt er een groote stroom, maken we de stof, die het moeilijkst electronen uitzendt, negatief, dan is de stroom klein.

Nu kennen we inderdaad stoffen, die gemakkelijker en moeilijker electronen uitzenden; de eerste zijn de metalen, de tweede zijn de halfgeleiders en de electrolyten. Weliswaar bevatten de electrolyten geen vrije electronen maar de negatieve ionen zijn dragers van electronen en het sterke veld kan electronen van de ionen lostrekken en in de sperlaag brengen.

Bij onze electrolytische gelijkrichter of condensator zal dus een groote stroom loopen, als het aluminiumlichaam negatief is en een kleine stroom, wanneer de electrolyt negatief is.

We zien nu, waarvoor het noodig is, de condensator steeds zóó te schakelen, dat de electrolyt de negatieve pool vormt. Immers, dan loopt er slechts een kleine stroom door de condensator (lekstroom). Het liefst zouden we in het geheel geen lekstroom hebben, maar we zien, dat deze onvermijdelijk is. Ook volgt uit het voorafgaande, dat deze lekstroom kleiner wordt, naarmate de electrolyt minder ionen bevat, d.w.z. de stroom minder geleidt.

Inderdaad geven electrolyten met een hooge soortelijke weerstand kleine lekstroomen. Deze hebben echter het bezwaar, dat de serieweerstand R (vgl. fig. 3) voor de condensator te groot wordt.

We moeten dus een compromis sluiten en de vraag stellen, welke serieweerstand R nog toelaatbaar is en de daarbij behoorende lekstroom accepteeren. Gelukkig is deze steeds zeer klein (< 1 mA voor 450 volt bij enkele μF).

Het is nu ook direct duidelijk, waarom het onmogelijk is, dat we in plaats van een electrolyt een metaal als tweede electrode nemen. In dit geval is de sperlaag (aluminiumoxydhuid) begrensd door twee stoffen, die beide ongeveer even gemakkelijk electronen afstaan, zoodat in beide richtingen een groote stroom loopt en de condensator onbruikbaar wordt. Bovendien treedt dan reeds bij lage spanningen doorslag op. We zien dus, dat de voorgeschreven polariteit en het gebruik van een electrolyt beslist noodzakelijk zijn.

Condensatoren voor verschillende spanningen

We zagen reeds, dat de lekstroom ontstaat, doordat ook het electrolyt in staat is onder invloed van het sterke electrische veld electronen uit te zenden, die door de oxydhuid naar het aluminium gaan. Deze stroom is bepaald door de veldsterkte. Zijn bij condensatoren uit een zelfde materiaal

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

de lekstroomen bij eenzelfde spanning gelijk, dan kunnen we zeggen, dat de oxydhuidjes even dik zijn. De veldsterkte F is dan gelijk aan

$$\frac{\text{aangelegde spanning}}{\text{dikte sperlaag}} = \frac{V}{d}.$$

Wanneer we een aluminiumlichaam oxydeeren in een electrolyt en we leggen daarbij een bepaalde spanning V_1 aan, dan neemt, zooals we in de inleiding reeds zagen, de stroom, die door de electrolyt gaat, voortdurend af. Bij een bepaalde kleine eindwaarde i_1 van deze stroom beschouwen we het oxydatieproces als beëindigd. Brengen we nu een ander aluminiumlichaam van dezelfde afmetingen in hetzelfde electrolyt en leggen dan een spanning V_2 aan, die tweemaal zoo groot is als V_1 en wachten we tot de lekstroom ook nu de waarde i_1 heeft gekregen, dan weten we dus, dat bij beide condensatoren eenzelfde veldsterkte aan de grenslaag van de electrolyt optreedt. Daar echter $V_2 = 2\,V_1$, moet dan ook $d_2 = 2\,d_1$ zijn en dus ook de capaciteit van de tweede condensator half zoo groot als van de eerste. Bij een op 500 volt geformeerde anode bedraagt de dikte der oxydlaag 0,6 μ.

Van eenzelfde aluminiumoppervlak kunnen we dus een condensator maken van bijv. 10 μF bij 500 V, 20 μF bij 250 V, 50 μF bij 100 V enz. Het is dus een groot voordeel van de electrolytische condensatoren, dat we de capaciteit kunnen aanpassen aan de gebruikte spanning.

De doorslagspanning van electrolytische condensatoren

We zagen reeds, dat wanneer we de aangelegde spanning bij een electrolytische condensator verhoogen, bij een bepaalde spanning een vonkverschijnsel optreedt en dat dit vonkverschijnsel analoog is aan de doorslag bij een gewone condensator.

Het blijkt nu, dat deze „vonkspanning" V afhangt van de soortelijke weerstand van de electrolyt (ϱ) en wel, dat bij gegeven laagdikte

$$V = a \log \varrho + b,$$

waarin a en b constanten zijn.

We kunnen dit als volgt begrijpen. Hoe grooter de concentratie der ionen is in de electrolyt, des te grooter zal de door de electrolyt uitgezonden stroom zijn, des te meer electronen komen in het diëlectrum en des te gemakkelijker zal doorslag (vonken) optreden.

Theoretisch kunnen we dus condensatoren maken met zeer hooge doorslagspanning door de soortelijke weerstand ϱ van de electrolyt te verhoogen. We loopen dan echter vast op het feit, dat de groote soortelijke weerstand een te groote serieweerstand voor de condensator geeft, waardoor de werkzame capaciteit van de condensator verkleind wordt. We zoeken dus steeds een compromis tusschen de eisch van verhooging der doorslagspanning en de eisch om de serieweerstand niet te hoog te maken.

Wij merkten reeds op, dat de condensator bij het optreden van „vonken" niet bederft. Zelfs bij zeer hooge overspanning gebeurt dit niet. Wel is dan de lekstroom grooter, maar deze neemt daarna bij de normale gebruiksspanning weer zijn gewone waarde aan.

Invloed van de temperatuur op een electrolytische condensator

De temperatuur heeft in hoofdzaak alleen invloed op het geleidingsvermogen van de electrolyt. Dit stijgt met toenemende temperatuur, zoodat de serieweerstand R afneemt. Bij lage temperaturen wordt deze weerstand hooger. Als gevolg van de temperatuurverhooging neemt de concentratie der vrije ionen en hun beweeglijkheid toe, wat een grootere lekstroom veroorzaakt. Van 20 °C tot 60 °C wordt de lekstroom ongeveer driemaal zoo groot, waarbij deze echter toch nog zeer klein blijft.

De electrolytische condensator in het gebruik

We zagen reeds, dat er steeds een kleine stroom door de condensator loopt. Hierbij treedt zuurstofontwikkeling op, die oxydeerend werkt. De oxydhuid zal dus iets in dikte toenemen en de capaciteit kleiner worden. Deze afname is echter uiterst gering, omdat de lekstroom zoo klein is. Condensatoren van ruim 10 μF, die gedurende een jaar voortdurend op 450 volt stonden, waren gemiddeld slechts 0,8 μF in capaciteit achteruitgegaan. Lekstroom, capaciteit en weerstand blijven practisch constant.

Wanneer een electrolytische condensator gedurende eenige maanden buiten werking is geweest, zal bij het aanleggen van spanning gedurende de eerste secunden een vrij groote stroom door de condensator gaan. De lekstroom is dus toegenomen tengevolge van het langere tijd buiten werking zijn. Deze stroom neemt echter vrij snel in grootte af en bereikt na enkele minuten een kleine waarde en spoedig daarna de waarde, die de lekstroom had vóór het buiten werking zetten van de condensator.

Constructie der electrolytische condensatoren

De door ons vervaardigde electrolytische con-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

densatoren kunnen we verdeelen in 3 hoofdtypen, welke zich, behalve in de constructie, ook van elkaar onderscheiden door de toelaatbare bedrijfsspanning.

Het meest gangbare type (naar de constructie te noemen stertype) wordt gemaakt voor bedrijfsspanningen van 320 V, 350 V en 450 V. Voor bedrijfsspanningen van 500 V en 550 V wordt een speciaal hoogspanningstype vervaardigd, terwijl het laagspanningstype bestemd is voor bedrijfsspanningen van 25 en 12,5 V. Achtereenvolgens zullen nu van deze typen de constructie en de

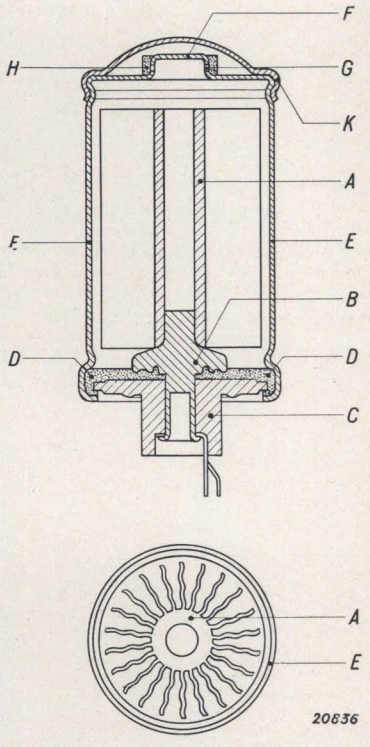


Fig. 4. Uitvoering van een electrolytische condensator in stertype. De anode *A* bestaat uit een stervormige staaf aluminium. Door middel van de stift *B* is de anode onwrikbaar verbonden met de „Philite" dop *C*. De rubberplaat *D* zorgt voor een vloeistofdichte afsluiting zoowel van anode tegen „Philite" dop als van deze laatste ten opzichte van het aluminiumhuis (kathode). De aluminiumbus *E* bevat aan de bovenkant het ventiel, bestaande uit de klokvormige uitstulping *F*, in welks opstaande wand enkele openingen *G* voorkomen. Deze openingen worden door de eromgelegde rubberband *H* afgesloten: ontstaat in de condensator een overdruk, dan kan gas door de openingen *G* langs het rubber *H* ontwijken. Het geheel wordt nog weer afgesloten door de aluminiumkap *K*, waarbinnen zich een absorbeerende stof bevindt, teneinde eventueel door het ventiel naar buiten getreden vocht te absorbeeren. De geheele buis is tot boven de rand van de anode met het electrolyt gevuld.

gezichtspunten, die bij hun ontwikkeling maatgevend waren, besproken worden.

1) Stertype *(fig. 4)*

De anode bestaat hier uit een stervormig aluminium lichaam, dat bij klein volume een groot oppervlak bezit. In het laboratorium is een procédé uitgewerkt, dat het mogelijk maakt, het oppervlak van het aluminium chemisch te vergrooten (beitsen); vgl. *fig. 5*. Door dit beitsproces wordt het oor-

Fig. 5. Foto van een gebeitst oppervlak.

spronkelijk gladde oppervlak zoo veranderd, dat het tenslotte bestaat uit microscopisch kleine heuveltjes en dalen, zoodat het werkzame oppervlak meerdere malen wordt vergroot. Wordt dit zoo behandelde aluminium nu op de normale wijze geformeerd, dan verkrijgt men een capaciteit, die gemiddeld zevenmaal zoo groot is als de capaciteit met een glad oppervlak verkregen. Dientengevolge kunnen deze condensatoren zeer geringe afmetingen hebben.

Het huis van de condensator, dat tegelijkertijd als kathode dient, bestaat uit een aluminiumcylinder, welks bodem door een met schroefdraad voorziene „Philite" dop wordt afgesloten. Deze dop dient tevens als bevestiging van de condensator en als isolator voor de doorvoer van de anode naar de anode-aansluiting. De afdichting tusschen aluminiumhuis en „Philite" dop vindt plaats door een schijf rubber, welke een volkomen vloeistofdichte afsluiting waarborgt. Het geheel is gevuld met electrolyt van een bepaalde, voor elke bedrijfsspanning andere, samenstelling. De bovenkant van het aluminiumhuis bevat een ventiel, dat aan gedurende het bedrijf vrijkomende gassen gelegenheid geeft te ontsnappen. Dit ventiel gaat open bij een overdruk kleiner dan 1 atmosfeer. Rondom het ventiel is een absorbeerende massa aangebracht om eventueel door het ventiel naar buiten komende vloeistof (bijv. bij sterke overbelasting) op te nemen; het geheel is door een deksel afgesloten.

De volgende tabel geeft enkele eigenschappen van condensatoren van dit type:

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Tabel I

capaciteit	8	16	32 µF
maximale bedrijfsspanning	450	450	320 volt
piekspanning	480	480	350 volt
serieweerstand bij 50 Hz en 20 °C	ca 70	ca 45	ca 10 Ω
max. toelaatbare wisselspanning bij 50 Hz	23	23	16 volt
lekstroom maximaal	0,8	1,6	2 mA
hoogte	49	69	69 mm
diameter	40	40	40 mm
gewicht	90	125	125 gram
max. bedrijfstemperatuur	60	60	60 °C

In *fig. 6* is voor deze typen de lekstroom als functie van de spanning gegeven. Daar electro-

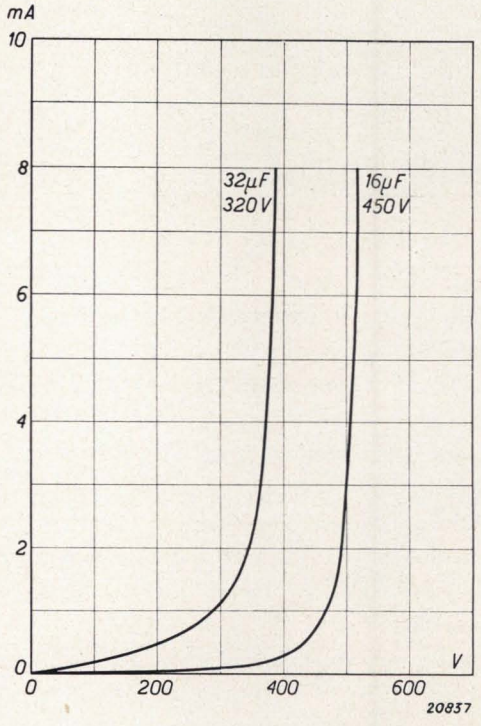


Fig. 6. Lekstroom van een electrolytische condensator als functie van de spanning.

lytische condensatoren meestal gebruikt worden om een gelijkspanning van een tegelijkertijd aanwezige wisselstroomcomponent te ontdoen (vereffening in radio-apparaten) is in bovenstaande tabel tevens de maximaal toelaatbare wisselspanning aangegeven. Hierbij moet steeds gezorgd worden, dat de tegelijkertijd aangelegde gelijkspanning grooter is dan de amplitude van de wisselspanning, dwz., de anode mag nooit negatief worden ten opzichte van de kathode. Onder bedrijfsspanning wordt verstaan de som van de aangelegde gelijkspanning en de amplitude van de wisselspanning. De piekspanning is de spanning, die de condensator gedurende korte tijden zonder schade kan verdragen.

De oorzaak, dat een electrolytische condensator geen onbegrensd groote wisselspanningen kan verdragen, is de volgende. De door de condensator vloeiende wisselstroom veroorzaakt, dat de kathode, welke ook uit aluminium bestaat, afwisselend positief en negatief ten opzichte van de vloeistof wordt. Zooals in het voorafgaande al werd betoogd, bedekt het aluminium zich, wanneer het positief wordt ten opzichte van de electrolyt, met een oxydlaag. Het gevolg is dus, dat deze wisselstroom op de kathode ook een condensator vormt; de capaciteit hiervan is weliswaar zeer groot, maar zij kan toch, daar zij in serie staat met de capaciteit op de anode, de totale capaciteit kleiner maken. Uit proeven is gebleken, dat bij een wisselstroomdichtheid van 0,5 mA per cm² (50 - 100 Hz) de capaciteit van de kathode zoo groot is, dat nog geen merkbare capaciteitsteruggang na enkele duizenden uren gebruik optreedt. Door een speciale behandeling van het aluminium der kathode is het gelukt, deze toelaatbare wisselstroom tot 4 à 5 mA (bij 50 - 100 Hz) op te voeren. Merkwaardig is, dat deze oxydatie van de kathode niet meer plaats heeft bij hoogere frequenties (500 Hz en hooger).

Fig. 7 geeft voor dit type de tangens van de

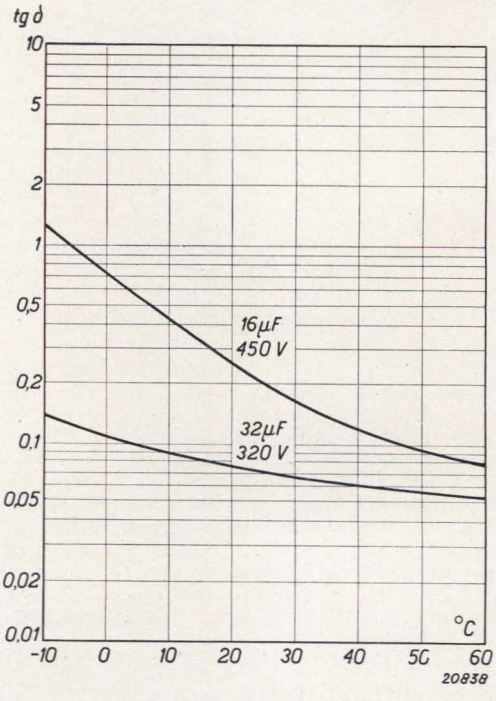


Fig. 7. Tangens van de verlieshoek (tg δ) bij 50 Hz als functie van de temperatuur.

verlieshoek (tg δ) bij 50 Hz als functie van de temperatuur vanaf -10 °C tot $+60$ °C. Het kleiner worden van tg δ, of wat hetzelfde is, van de serieweerstand, is een gevolg van het kleiner worden van de soortelijke weerstand van de electrolyt met toenemende temperatuur.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

2) Hoogspanningstype

Voor bedrijfsspanningen van 500 V en hooger is het noodzakelijk electrolyten te gebruiken met vrij hooge soortelijke weerstand (ongeveer 10 000 Ω . cm bij 20 °). Bij de „ster"-constructie zou men dan serieweerstanden krijgen van 300 Ω en meer voor een condensator van 8 μF, hetgeen natuurlijk ontoelaatbaar hoog is. Het eenige middel om de serieweerstand te verkleinen is, de afstand tusschen anode en kathode zoo klein mogelijk te maken. Dit is verwezenlijkt in de constructie van dit type (zie *fig. 8*). De anode bestaat hier uit een uit één stuk gespoten cylinder van aluminium en is aan weerskanten (op ongeveer 1 mm afstand) door de kathode omgeven. De eigenschappen van dit type zijn opgenomen in de volgende tabel:

Tabel II

capaciteit	8	8 μF
maximale bedrijfsspanning	500	550 volt
piekspanning	550	600 volt
serieweerstand bij 50 Hz en 20 °C	ca 40	ca 60 Ω
maximale wisselspanning, 50 Hz	30	30 volt
lekstroom maximaal	2	2 mA
hoogte	112	112 mm
diameter	40	40 mm
gewicht	115	117 gram
maximale bedrijfstemperatuur	50	50 °C

3) Laagspanningstype

Deze condensatoren zijn op analoge wijze als papiercondensatoren samengesteld, een kathode en een anode van dun aluminiumfolie zijn met een tusschenlaag van met electrolyt gedrenkt papier opgerold en ondergebracht in een hardpapieren koker, welke aan de uiteinden met compound is afgesloten. De eigenschappen zijn vermeld in de volgende tabel:

Tabel III

capaciteit	25	50 μF
bedrijfsspanning	25	12,5 volt
serieweerstand bij 20 °C	ca 6	ca 6 Ω
maximale wisselspanning, 50 Hz	6	3 volt
lekstroom maximaal	50	50 μA
diameter	17	17 mm
lengte	53	53 mm
gewicht	14	14 gram

Vergelijking tusschen electrolytische condensatoren en papiercondensatoren

Als voordeelen van de electrolytische condensator boven de papiercondensator kunnen genoemd worden:

1) grootere capaciteit per volume-eenheid, speciaal bij lagere bedrijfsspanningen, waar men immers door bij lagere spanning te formeeren de oxydhuid zeer dun kan nemen, terwijl men bij papiercondensatoren niet beneden een zekere papierdikte kan gaan.
2) Terwijl bij de papiercondensator spanningsstooten tot doorslag en dus tot volledige vernieling van de condensator kunnen leiden, is de electrolytische condensator hiervoor ongevoelig, daar hij zichzelf herstelt.

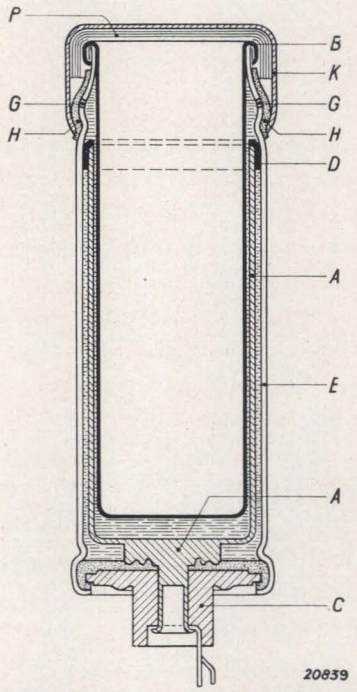


Fig. 8. Uitvoering van een electrolytische condensator in hoogspanningstype. De anode bestaat hier uit een uit één stuk geperste beker van aluminium, welke van onderen op overeenkomstige wijze als bij het stertype in de „Philite" dop *C* is bevestigd. De kathode bestaat uit twee deelen: één deel vormt het uitwendige condensatorhuis *E*, terwijl het tweede deel door een bij *B* aan *E* vloeistofdicht gefelsde binnenbus bestaat. Door deze constructie is bereikt, dat de afstand tusschen anode en kathode zeer klein is. Bij *D* bevindt zich een strookje isolatiemateriaal, dat dient om bij montage de anode in de buitenbus te centreeren. Het ventiel wordt weer gevormd door eenige openingen *G* in de buitenbus, afgesloten door een rubberband *H*. Het ventiel wordt onder tusschenvoeging van een absorbeerende stof *P* door de kap *K* beschermd.

Als voordeelen van de papiercondensator boven de electrolytische condensator kunnen worden genoemd:

1) er is geen polarisatie-gelijkspanning noodig; er is dus ook geen lekstroom.
2) alleen de papiercondensator kan op zuivere wisselstroom worden gebruikt.
3) de verliezen (tgδ) van de papiercondensator zijn, vooral bij hoogere frequenties, kleiner dan van de electrolytische condensator.
4) in de kleinere waarden der capaciteit (< 2 μF) is de papiercondensator meestal goedkooper dan de electrolytische condensator.

In elk speciaal geval zullen deze voor- en nadeelen natuurlijk tegen elkaar moeten worden afgewogen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

TELEVISIE-INSTALLATIE MET SCHIJF VOLGENS NIPKOW

door H. RINIA en C. DORSMAN.

Samenvatting. Een televisie-zendinstallatie wordt beschreven, die geschikt is voor filmuitzendingen. Door gebruik te maken van een schijf volgens Nipkow, een zg. „multiplicatorbuis" en een hoogedruk kwiklamp verkrijgt men een zeer eenvoudige constructie en bereikt men hooge aantallen lijnen en uitstekende resultaten. Het electrische gedeelte van de installatie bestaat uit twee multiplicatoren, een fotocel en drie versterkerlampen.

Inleiding

De mogelijkheid, een beeld voor televisiedoeleinden af te tasten met behulp van een roteerende schijf met gaatjes, werd reeds in 1884 door Nipkow aangegeven. Een tijdlang werd ook voor weergave een dergelijke schijf veelvuldig gebruikt. Bij het stijgen van het aantal beeldelementen nemen echter de moeilijkheden voor weergave zeer snel toe. Vrijwel algemeen wordt hiervoor de kathodestraalbuis thans toegepast.

Het is echter gebleken, dat de toepassing van een schijf volgens Nipkow in de zendinstallatie in bepaalde gevallen, namelijk voor filmuitzendingen, tot een zeer hoog aantal lijnen mogelijk is en tot eenvoudige constructies en zeer goede resultaten leidt. Dit geldt in het bijzonder, wanneer men als versterker de zg. multiplicatorbuis gebruikt en als verlichtingsbron de hoogedruk kwiklamp.

lichtpunt op de film een horizontale lijn. De film beweegt zich continu naar beneden, zoodat de lichtlijn, welke door het volgende gaatje op de film wordt beschreven, boven de eerste lijn is gelegen.

Het objectief O bestaat uit twee normale filmprojectie-objectieven, welke met de zijden, die bij normaal gebruik naar het scherm gekeerd zijn, tegen elkaar zijn geplaatst.

Het gebruik van twee objectieven dient in de eerste plaats voor het verkrijgen van een groote openingshoek. Deze lenzen zijn bedoeld en dan ook gecorrigeerd voor het geval, dat de uittredende lichtbundel ongeveer evenwijdig is. Dit is bij de hier toegepaste opstelling het geval. Zoowel de schijf als de film bevinden zich in het brandpunt van één der lenzen en de afbeeldingsmaatstaf is

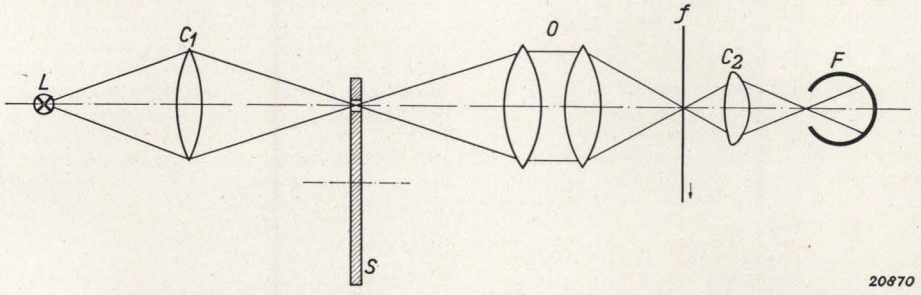


Fig. 1. Stralengang bij het aftasten van films met behulp van de schijf van Nipkow. L lichtbron (hoogedruk kwiklamp), C_1, C_2 condensoren, S schijf van Nipkow, O objectief, f film, F fotocel.

Beschrijving van de opstelling

In *fig. 1* is schematisch de stralengang van een in het Philips laboratorium gebouwde experimenteele opstelling aangegeven.

Dicht bij de omtrek van de schijf bevinden zich op regelmatige afstanden kleine gaatjes, alle op dezelfde afstand van het middelpunt van de schijf. De streepvormige lichtbron L wordt door middel van de condensor C_1 op de schijf afgebeeld en wel dusdanig, dat het beeld de cirkel van de gaatjes raakt. Een deel van het licht valt dus door een der gaatjes en wordt met het objectief O op de film geprojecteerd. Wanneer de schijf roteert, beschrijft het

door de verhouding van de twee brandpuntsafstanden gegeven.

Tenslotte wordt het doorgelaten licht met C_2 in de fotocel samengebracht. Hier ontstaat het electrische signaal, dat verder wordt versterkt en aan de zender wordt toegevoerd. Het is duidelijk, dat schijf en film van plaats kunnen verwisselen, zonder dat hier iets aan het principe of de maximaal bereikbare lichthoeveelheden verandert.

Welke mogelijkheden biedt de schijf?

Wij willen hier nagaan, welke mogelijkheden zich voordoen om een zoo groot mogelijke hoeveelheid licht in de fotocel te verkrijgen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

Zien we af van de absorptie in de film, dan hangt de lichthoeveelheid in de fotocel af van de oppervlaktehelderheid van de lamp, de grootte van het gaatje, de openingsverhouding van de lichtbundel bij de schijf en de diverse verliezen in de geheele optiek.

Noemen we de oppervlaktehelderheid van de lamp H, de ruimtehoek van de door het gat vallende bundel Φ, het gedeelte van het licht, dat niet gereflecteerd of geabsorbeerd wordt α, en het oppervlak van het gat o dan is de lichtstroom in de fotocel

$$H \cdot \Phi \cdot \alpha \cdot o \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

De oppervlaktehelderheid H

Wij hebben in de opstelling een lichtbron noodig, die lijnvormig is en een hooge oppervlaktehelderheid bezit. Hiervoor is bijzonder geschikt de door water gekoelde hoogedruk kwiklamp, die hier een helderheid van 30 000 kaars/cm² levert; dat is ca. 3 maal de helderheid van een normale koolboog.

De ruimtehoek Φ

De ruimtehoek Φ is door de kwaliteit van het optische systeem begrensd en wel feitelijk door diegene der twee lenzen van het objectief O, die de kortste brandpuntsafstand heeft. Dit is hier de lens op de zijde van de schijf, d.w.z. de schijf wordt vergroot op de film afgebeeld. Wij gebruikten een lenstype met een openingsverhouding 1 : 2, dus $\Phi = 0{,}2$.

De grootte van het gat o

Bij het gegeven aantal beeldelementen staat de grootte van het gat in verband met de omtreksnelheid van de schijf ter plaatse van de gaatjes. De breedte d_s van het gat staat nl. tot de door het systeem van aftasten gegeven breedte d_b van het beeldelement in dezelfde verhouding als de snelheid V_s van de schijf tot de evenzoo gegeven snelheid V_b van aftasten:

$$d_s = d_b \cdot \frac{V_s}{V_b} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

De omtreksnelheid van de schijf is echter begrensd door de toe te laten materiaalspanning en bedraagt in de hier gebouwde installatie ca. 130 m/sec ter plaatse van de gaten. De grootte van het gat is dan als volgt af te leiden.

In *fig. 2* is het af te tasten beeldoppervlak aangegeven; de verhouding b/h noemen we β. Nemen we aan, dat bij het aftasten achtereenvolgens n horizontale lijnen worden beschreven, waarbij het beeld van het gaatje een vierkantje met zijde h/n is, ter breedte dus van de afstand van twee lijnen. Dan is

$$d_b = \frac{h}{n} = \frac{b}{\beta n} .$$

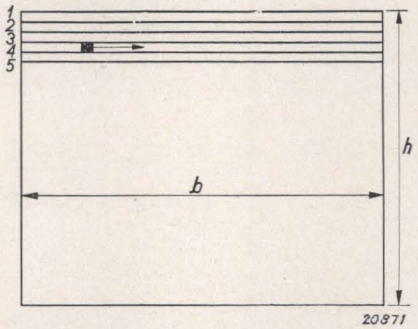


Fig. 2. Beweging van het aftastende lichtpunt over het beeldoppervlak.

Nu is de totaal per beeld te doorloopen weg van het aftastende lichtpunt $n\ b$, d.w.z. zijn snelheid V_b bij N beelden per secunde $V_b = N\ n\ b$.
Daar dus $b = V_b/nN$, wordt

$$d_b = \frac{V_b}{\beta n^2 N}$$

Hieruit volgt met behulp van (2) voor het gat in de schijf:

$$o = d_s^2 = \left(\frac{V_s}{\beta\ n^2\ N}\right)^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Uit deze formule zien we direct, dat het oppervlak van het gat omgekeerd evenredig met de 4e macht van het aantal lijnen afneemt en het blijkt, dat een groote schijfsnelheid gewenscht is.

Door invullen van de getallenwaarden:

$V_b = 13000$ cm/sec,
$n = 405$ lijnen/beeld,
$N = 25$ beelden/sec,
$\beta = 1{,}2$.

verkrijgen wij:

$$o = \left(\frac{13000}{1{,}2 \cdot 25 \cdot 164000}\right)^2 = (2{,}64 \cdot 10^{-3}\ \text{cm})^2 =$$

$$= 7 \cdot 10^{-6}\ \text{cm}^2 ;$$

de lengte en breedte van het gat is dus 26,4 μ.

De totale lichtstroom bedraagt volgens verg. (1), indien we aannemen $\alpha = 0{,}5$:

$$30\,000 \cdot 0{,}2 \cdot 0{,}5 \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 2{,}1 \cdot 10^{-2}\ \text{lumen}.$$

Indien we de gevoeligheid van de fotocel voor de gebruikte lichtbron op 20 μA/lumen aannemen, wordt dus het signaal 0,42 μA, wat, zooals verder zal blijken, volkomen toereikend is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Indien de afstand van de gaatjes op de schijf grooter zou worden dan de breedte van de film, dus wanneer het objectief een verkleinde afbeelding op de film zou geven, dan zou de lichtkegel aan de filmzijde een grootere tophoek krijgen dan aan de schijfkant. Wanneer dus de door de optiek gegeven grens van deze hoek bereikt is, heeft het geen zin, de schijfsnelheid verder op te voeren. In de practijk, bij gebruik van normaalfilm, komt men meestal niet zoover bij een groot aantal lijnen.

Benoodigde sterkte van de signaalstroom

De toe te laten minimale waarde van de signaalstroomsterkte is bepaald door de voorwaarde, dat het signaal tijdens het aftasten van één beeldelement een zoo groot aantal electronen moet bevatten, dat de statistische onregelmatigheden van het lichtelectrische effect geen rol spelen. In ons geval van $\beta\, n^2 = 197\,000$ beeldelementen, bedraagt de tijd voor het aftasten van een element

$$\frac{1}{25 \cdot 197000} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ sec.}$$

Daar de lading van een electron $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ coulomb bedraagt, zullen per beeldelement

$$0{,}42 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^{-7} : 1{,}6 \cdot 10^{-19} = 500\,000$$

electronen vrijkomen. Voor de donkere gedeelten van het beeld kan het aantal een factor 40 kleiner zijn. Het blijft in het berekende geval echter altijd zoo groot, dat de statistische afwijkingen verwaarloosd kunnen worden.

Het is bijv. voor het verder opvoeren van het aantal beeldelementen van belang te weten, hoe ver wij met de signaalstroomsterkte naar beneden kunnen gaan. Wanneer het aantal oorspronkelijke electronen bij constante belichting per beeldelement gemiddeld a is, dan volgt uit de waarschijnlijkheidsrekening, dat dit aantal fluctueert en wel gemiddeld met $\sqrt{a}$. Dit geeft dus een onderste grens aan het nog bruikbare aantal electronen. Neemt men aan, dat op een veld ter grootte van een beeldelement in de donkere gedeelten van het beeld fluctuaties van ca. 20 % nog niet opvallen, dan volgt hieruit een minimaal aantal electronen van 25. Bij een nog over te brengen maximale verhouding tusschen licht en donker van 40 : 1 geeft dit als aantal electronen bij de maximale belichting 1000. Bij het boven uitgerekende geval voor het weergeven van een film is dit aantal 500 maal grooter, zoodat hier in dit opzicht nog een groote reserve aanwezig is.

Deze gunstige situatie is hoofdzakelijk te danken aan de hooge oppervlaktehelderheid van de lichtbron. Bij toepassing van een dergelijk systeem voor directe opname moet men rekening houden met de minstens 10 000 maal kleinere oppervlaktehelderheid in de studio en zou men, wat de signaalstroomsterkte betreft, in groote moeilijkheden geraken.

De versterking van de signalen

Om een televisiezender te kunnen besturen, is het noodzakelijk, het op de boven beschreven wijze verkregen signaal te versterken. Gezien de toch nog geringe grootte van de signaalstroomen dient er hierbij op te worden gelet, dat de wijze van versterken niet aanleiding geeft tot nieuwe ontoelaatbare fluctuaties. Men zou bijv. de signaalstroom door een weerstand kunnen voeren en de aan de uiteinden van de weerstand optredende spanning op het stuurrooster van een versterkerlamp kunnen brengen. In dit geval zou echter de thermische beweging van de electronen in de weerstand aan zijn uiteinden nieuwe fluctuaties van de spanning opwekken, welke veel grooter zijn dan die, welke afkomstig zijn van de stroomfluctuaties der fotocel[1]). Bovendien geeft de versterklamp zelf nog aanleiding tot fluctuaties. Niettegenstaande deze moeilijkheden is de versterking met radiolampen in dit geval nog mogelijk gebleken.

Een op een geheel ander principe berustende versterker, de zg. electronenmultiplicator, geeft hier in alle opzichten een zeer groote verbetering en vereenvoudiging. In het kort kunnen we de multiplicator als volgt *(fig. 3)* beschrijven:

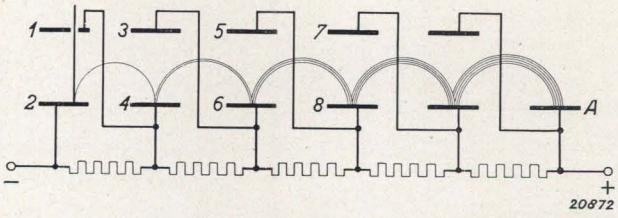


Fig. 3. Schematische voorstelling van de multipicatorbuis. Een lichtstraal valt door plaat *1* op plaat *2* en doet daar foto-electronen uittreden. Door een magneetveld loodrecht op het vlak van de teekening en de tusschen de verschillende platen aanwezige electrische velden wordt bereikt, dat de electronen zich op de aangegeven wijze bewegen. Ieder op de platen *4*, *6*, *8* enz. vallend electron doet daar meerdere secundaire electronen uittreden, zoodat voor ieder fotoelectron ca. 100 000 electronen op de anode *A* terechtkomen.

[1]) De van de thermische beweging afkomstige spanningsfluctuaties nemen toe met de wortel uit de weerstand, terwijl de door de signaalstroom opgewekte spanningen evenredig met de weerstand toenemen. Door vergrooting van de weerstand kan men dus de invloed van de temperatuurbeweging verminderen. Hieraan is echter een grens gesteld door de parallel geschakelde schadelijke capaciteit tusschen rooster en kathode van de versterkerlamp. Bij een capaciteit van $12\,\mu\mu$F en een frequentie van $3 \cdot 10^6$ perioden/sec kan bijv. de totale impedantie nooit grooter worden dan ca. 4500 ohm.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

In een vacuum ballon zijn een aantal vlakke metalen plaatjes *1*, *2*, *3* enz. aangebracht. Het plaatje *2* is foto-electrisch gevoelig, het licht kan door een opening in plaatje *1* op plaatje *2* vallen. De plaatjes *4*, *6*, *8* etc. hebben een zoodanig oppervlak, dat wanneer hierop een electron met bijv. 100 V snelheid valt, er meerdere, bijv. drie secundaire electronen vrijkomen. De plaatjes zijn nu verbonden, zooals in de figuur aangegeven is. Door een geschikte potentiometer wordt gezorgd, dat het spanningsverschil tusschen alle plaatjesparen gelijk is, bijv. 100 V.

Tevens is loodrecht op het vlak van teekening een magneetveld aangebracht. De werking is nu als volgt:

Een vrijkomend foto-electron wordt door het electrisch veld tusschen *1* en 2 naar boven getrokken. Door het magneetveld wordt het echter tevens naar rechts afgebogen en komt zoo op plaatje *4*, waar het aankomt met een snelheid, overeenkomende met het spanningsverschil tusschen *2* en *4*. Hier worden nu bijv. drie electronen vrijgemaakt, die op dezelfde wijze op *6* terecht komen en daaruit opnieuw ieder drie electronen losmaken. Sneeuwbalsgewijze gaat dit zoo door en met een vrij gering aantal plaatjes is reeds een stroomversterking van bijv. 10^5 te bereiken. Wanneer men een multiplicator gebruikt, vervalt de geheele fotocelversterker en wordt tevens de oorzaak van thermische fluctuaties geheel weggenomen. Het geheele verschijnsel gebeurt vrijwel zonder traagheid, zoodat ook de zeer hooge frequenties onverzwakt doorkomen. Daar het aantal secundaire electronen betrekkelijk weinig afhangt van de versnellende spanningen, is het instrument zeer weinig gevoelig voor kleine spanningsfluctuaties en daarmede voor storingen. Ook de terugwerking, die bijv. bij versterkers aanleiding kan geven tot oscilleeren, is hier geheel te verwaarloozen. Wanneer men bedenkt, dat de multiplicator even goed gelijkstroom als wisselstroom versterkt, dan moet men deze wijze van versterken voor het hier beoogde doel haast wel ideaal noemen.

Bijzonderheden van de constructie

De schijf van Nipkow heeft een diameter van 35 cm ter plaatse van de gaatjes en loopt met 125 omw/sec. Voor 405 lijnen per beeld zijn dus 81 gaatjes aan de omtrek noodig. De afstand van de gaatjes is 13,5 mm, terwijl de breedte van het af te tasten filmbeeld tot 23 mm kan bedragen. De schijf wordt dus met een vergrooting 1 : 1,7 afgebeeld.

Bij de boven uitgevoerde berekening is steeds gesproken over vierkante gaten. Voor aftasten (niet voor weergave) is de vorm niet zeer belangrijk. In de practijk voldoen ronde gaten, met een diameter, ongeveer gelijk aan of iets grooter dan de lijn-afstand zeer goed. De eenvoudige bewerking weegt ruimschoots op tegen het geringe verlies aan licht. In dit geval is de diameter van de gaten 27μ. Het is noodzakelijk, de gaatjes allen precies even groot te maken, daar anders hinderlijke donkere en lichte lijnen in het beeld te zien zijn.

Teneinde het beeld overal even scherp te krijgen, is het noodig, dat de gaatjes allen in één plat vlak liggen. De groote middelpuntvliedende kracht (aan de omtrek van de schijf 12 000 maal de zwaartekracht) zorgt er voor, dat ook een oorspronkelijk iets onvlakke schijf in bedrijf geheel vlak gaat staan. Verder is het voor het verkrijgen van een goed beeld noodig, dat alle gaatjes, zoowel in tangentiale als in radiale richting zeer nauwkeurig op de juiste plaats staan (toelaatbare afwijkingen $< 5\mu$) en deze plaats ook tijdens het ronddraaien behouden. Teneinde de luchtwrijving te verminderen, is de schijf in een ijzeren doos geplaatst, die luchtledig gepompt wordt (ca. 1 cm kwikdruk is voldoende laag).

Het voortbewegen van de film is zeer eenvoudig, doordat dit continu gebeurt. De film wordt over het filmvenster getrokken door een zg. sprocket, dat wordt aangedreven via twee tandwielen door een synchroonmotertje, dat loopt met 1500 omw/sec. In tegenstelling met een normale projector is het hier niet noodig, het sprocket, via welke de film aan het venster wordt toegevoerd, aan te drijven. Voor het afnemen van het geluid bij sprekende film zijn dank zij de continue beweging geen bijzondere voorzorgsmaatregelen noodig, om de filmsnelheid volkomen gelijkmatig te doen zijn.

Verdere versterking der signalen

Om de verkregen beeldsignalen langs een verbindingslijn storingsvrij aan een televisiezender toe te voeren, moeten deze signalen een spanning van de orde van grootte van eenige volts hebben. De verbindingskabel is aan het eind afgesloten door zijn golfweerstand (hier ca. 100 ohm), teneinde reflecties te vermijden.

Het maximale signaal, dat de gebruikte multiplicatorbuis nog veilig kan verwerken, bedraagt ongeveer 2 à 3 mA. In *fig. 4* is de schakeling aangegeven, waarmede deze signalen versterkt worden. De stroom van de multiplicator doorloopt een weerstand R_1, geschakeld tusschen rooster en kathode van de lamp L_1. Men kan dus de signaalspanning op het rooster van de lamp opvoeren, door R_1

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

groot te nemen. Om de reden, genoemd in noot [1]), is men hierin echter begrensd. Het bleek mogelijk, hier $R_1 = 2500$ ohm te nemen. Men verkrijgt dan een max. signaal van 5 à 7 volt op het rooster en, bij een kabel met een golfweerstand van 100 ohm en een

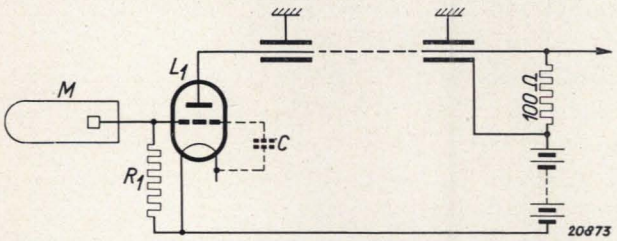


Fig. 4. Toevoer van het door de multiplicator opgewekte beeldsignaal naar de zender. De stroom van de multiplicator wekt aan weerstand R_1 spanningen op, die door de lamp L_1 versterkt worden, c is de schadelijke capaciteit van de lamp en beperkt de over te dragen frequentie.

steilheid van de versterkerlamp van 10 mA/V, eenzelfde spanning op de lijn. Zooals uit het schema volgt, is deze lamp geschakeld als gelijkstroomversterker.

Synchronisatiesignalen

Behalve de eigenlijke beeldsignalen moeten ook beeld- en lijnsynchronisatiesignalen worden overgebracht (voor de vorm van het signaal zie de artikelen van Van der Mark en Richards in dit tijdschrift [2]).

[2]) J. van der Mark, Philips techn. T. **1**, 325, 1936; C. L. Richards, Philips techn. T. **2**, 33, 1937.

De synchronisatiesignalen worden als volgt verkregen: Op de as van de synchrone motor, welke de film aandrijft, is een schijf geplaatst. Het licht van een lampje valt op een fotocel, doch wordt voor het grootste deel van de tijd door deze schijf onderbroken. Alleen gedurende de tijd tusschen twee beelden valt het licht door een gat op de fotocel. De stroom hiervan geeft via een versterlamp voldoende signaal om aan de lijn toegevoerd te worden, geheel op dezelfde wijze als het beeldsignaal. Het lijnsynchronisatiesignaal wordt op analoge wijze verkregen, echter nu met behulp van de gaatjes in de schijf van Nipkow. Deze gaatjes worden met behulp van een tweede optiek op een vaste opening afgebeeld, waarachter weer een multiplicatorbuis is geplaatst. Het is duidelijk, dat hiermede een kort rechthoekig signaal wordt verkregen. De verdere schakeling is geheel als die van de versterker van het beeldsignaal. Teneinde tijdens de beeldsynchronisatie de lijnsynchronisatiesignalen te onderdrukken, is in de lichtweg van deze laatste een roteerende vlinder geplaatst.

Afgezien van de eventueele controle-apparaten zijn dus slechts twee multiplicatorbuizen, een fotocel en drie versterkerlampen noodig om zoowel de beeldsignalen als de synchronisatiesignalen te versterken tot het niveau, waarop ze over de verbindingslijn naar de zender worden toegevoerd.

Digitized by www.freeservicemanuals.info
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

MAGNETISCHE KERNEN VOOR PUPINSPOELEN

door J. L. SNOEK.

Samenvatting. Nadat kort de vraag is behandeld, waarom in Pupinspoelen magnetische kernen technisch noodzakelijk zijn, worden de eigenschappen van massieve en onderverdeelde kernen besproken in verband met hun toepassing in Pupinspoelen. Een verdeeling volgens vlakken evenwijdig aan het veld is noodig ter voorkoming van wervelstroomverliezen. Door een verdeeling volgens vlakken loodrecht op het veld worden hysteresisverliezen en instabiliteit sterk verminderd. Zij kunnen echter ook voldoende worden verkleind door een geschikte mechanische en thermische behandeling van een nikkelijzerlegeering. Tenslotte wordt nader ingegaan op de magnetische toestand van deze legeering, terwijl besproken wordt, wat de oorzaken voor hare bijzondere eigenschappen kunnen zijn.

Voor Pupinspoelen zijn magnetische kernen noodig

Door Pupinspoelen op bepaalde afstanden in telefoonkabels op te nemen, wordt de demping verminderd en onafhankelijk van de frequentie gemaakt. Zooals reeds in een vroeger artikel[1]) werd aangetoond, kan men dit doel bereiken door verhooging van de zelfinductie van de leiding, indien tenminste de weerstand daardoor niet te zeer vergroot wordt. Voor de dempingsconstante α werd de volgende betrekking afgeleid:

$$\alpha = \sqrt{{}^1/_2 \sqrt{(R^2+\omega^2L^2)\,(G^2+\omega^2C^2)} + {}^1/_2\,(RG-\omega^2LC)} \quad (1)$$

Hierin is L de zelfinductie, R de weerstand, C de capaciteit en G de afleiding per lengte-eenheid van de kabel, waarvoor in de practijk 1 km gekozen wordt. Deze zelfde betrekking geldt, voor niet te hooge trillingsgetallen, ook indien een gedeelte van de weerstand en de zelfinductie niet gelijkmatig over de lengte verdeeld, maar op regelmatige afstanden in Pupinspoelen geconcentreerd is.

Aan de hand van (1) kan men vaststellen, welke zelfinducties der Pupinspoelen noodig zijn en welke weerstanden toelaatbaar geacht kunnen worden, opdat de demping bij spraakfrequenties doelmatig verminderd wordt.

Ter vereenvoudiging verwaarloozen we G ten opzichte van ωC (bij goede kabels is G omstreeks $1/10\,000\ \ \omega C$).
Dan is:

$$\alpha = \sqrt{{}^1/_2 R\omega C \cdot \sqrt{\sqrt{1+\frac{\omega^2L^2}{R^2}} - \frac{\omega L}{R}}} \quad (2)$$

In de niet-gepupiniseerde leiding is $\omega L \ll R$ voor frequenties van de spraak, en de tweede factor van (2) wordt dus nagenoeg 1 en $\alpha = \sqrt{{}^1/_2\ R\omega C}$. Gaat men $\omega L/R$ vergrooten dan wordt α steeds kleiner. Tenslotte, voor $\omega L \gg R$, vindt men bij benadering:

$$\alpha = \sqrt{{}^1/_2\, R\omega C \cdot} \sqrt{\frac{R}{2\omega L}} = \frac{R}{2}\sqrt{\frac{C}{L}} \quad . \quad (3)$$

In dit geval wordt dus de demping onafhankelijk van de frequentie, en een factor $\sqrt{\frac{2\ \omega\ L}{R}}$ kleiner dan voor het geval $\omega L \ll R$ [2]).

Teneinde de eischen, die men aan de Pupinspoel stelt, vast te leggen, splitsen we de weerstand R in $R_l + R_p$, waarbij R_l de weerstand van de leiding en R_p de weerstand van de Pupinspoel is en verwaarloozen de zelfinductie van de leiding ten opzichte van zijn weerstand. Voor het geval $\omega L \gg R$ vindt men dan:

$$\alpha = \sqrt{{}^1/_2\ \alpha\ (R_l + R_p)\ C \cdot} \sqrt{\frac{R_l + R_p}{2\ \omega\ L_p}}$$

$$\alpha = \alpha_l \left(1 + \frac{R_p}{R_l}\right) \cdot \sqrt{\frac{R_l}{2\,R_p\,\omega}} \cdot \sqrt{\frac{R_p}{L_p}} \quad . \quad (4)$$

waarbij α_l de demping van de niet-gepupiniseerde leiding is.

Men stelt nu in het algemeen de eisch, dat de Pupinspoelen de weerstand van de leiding niet meer dan 15% mogen verhoogen en dat bij een frequentie van 800 hertz de demping op minstens $^1/_4$ verlaagd moet worden.

Voor $\frac{R_p}{R_l} = 0{,}15$ volgt dan uit (4):

$$\alpha/\alpha_l = (1+0{,}15)\sqrt{\frac{1}{2\cdot 0{,}15\cdot 2\pi\cdot 800}} \cdot \sqrt{\frac{R_p}{L_p}}\,.$$

Wil men $\alpha/\alpha_l \leqslant 1/4$ hebben, dan volgt hieruit: $R_p/L_p \leqslant 75$ ohm/henry.

---

[1]) W. Six, Philips techn. T. **1**, 357, 1936.

[2]) Zooals vroeger (noot 1) werd aangetoond, wordt de demping geheel onafhankelijk van de frequentie, indien $LG = RC$. Daar G klein is, zou deze voorwaarde voor telefonieleidingen zeer groote zelfinducties L eischen. Hier zien wij echter, dat het niet noodig is, aan bovenstaande voorwaarde te voldoen. De demping wordt practisch onafhankelijk van de frequentie, wanneer $\omega L \gg R$, wat voor de frequenties van de spraak reeds bij belangrijk kleinere waarden van L het geval is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Probeert men zonder magnetische kernen zelfinducties van deze kwaliteit te maken, dan eischt het opbergen van de noodige koperdoorsnede voor iedere spoel een volume van meerdere dm³. Behalve de kosten voor de noodige hoeveelheid koper heeft men de moeilijkheid, zulke spoelen in een ondergrondsche kabelkast onder te brengen. Daar komt nog bij, dat luchtspoelen met hun grootere strooiïng zich niet zoo dicht op elkaar laten pakken als spoelen met magnetische kernen. Deze groote strooiïng zou overspreken van een leiding van de kabel op een andere met zich meebrengen. Het is dus onafwijsbaar, de inductie met behulp van magnetische kernen te verhoogen.

gebogen, waardoor niet-lineaire vervormingen optreden. Daarbij komt, dat het verband tusschen B en H zoo is, dat de inductie bij periodieke variaties van H voor afnemende veldsterkte gemiddeld grooter is dan bij toenemend veld. Dit verschijnsel, de zoogenaamde hysteresis, brengt verliezen aan energie met zich mee en draagt bovendien ook bij tot de niet-lineaire vervorming. Een derde ongewenschte eigenschap van de massieve magnetische kernen is hun electrisch geleidingsvermogen. Door de in het ijzer geïnduceerde Foucaultstroomen ontstaan verliezen aan energie, die voor den dag komen als een met het kwadraat van de frequentie toenemende weerstand.

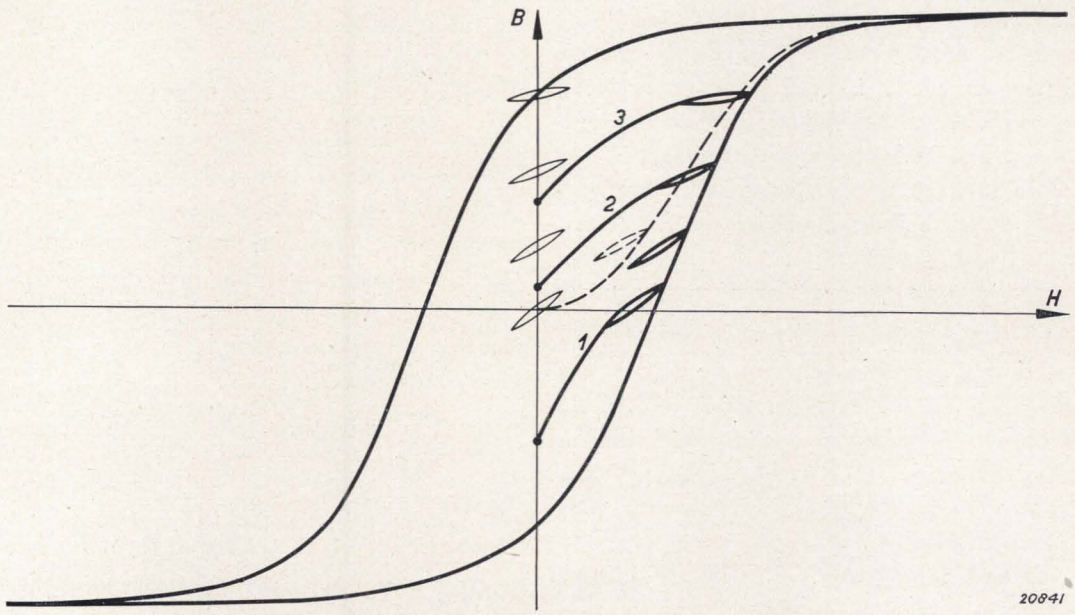


Fig. 1. Magnetisatiekromme van een magnetisch hard ijzer. Afhankelijk van de voorgeschiedenis kan iedere toestand voorkomen, die door een punt binnen de hysteresislus wordt bepaald. De kleine lussen worden doorloopen, indien het materiaal, uitgaande van verschillende beginpunten binnen de lus, onderworpen wordt aan hetzelfde magnetische wisselveld.

Vervorming en verliezen door magnetische kernen

Vervangt men bij een spoel de lucht door een magnetische kern, dan wordt de inductie B, die in lucht gelijk is aan de veldsterkte H, een zekere factor μ grooter en daarmede ook de zelfinductie van de spoel. De factor μ noemt men de permeabiliteit van de kern. Bestond nu tusschen B en H nauwkeurige evenredigheid, met andere woorden was μ een constante grootheid, dan zou de spoel met magnetische kern, afgezien van de vergrooting der zelfinductie, geheel gelijkwaardig zijn met een luchtspoel.

Bij massief ferromagnetisch materiaal bestaat zulk een eenvoudige betrekking tusschen B en H echter niet; in het algemeen is de B - H kromme

Instabiliteit

Door bovenstaande beschouwingen is het in *fig. 1* voorgestelde ingewikkelde verband tusschen veldsterkte en inductie nog geenszins volledig beschreven. In deze figuur valt op, dat de inductie met toenemende veldsterkte tot een verzadiging nadert. Bij een magnetisatie van wisselende sterkte doorloopt men heen- en teruggaande verschillende krommen, waardoor bij een voldoend groote amplitude van de veldsterkte de buitenste lus van de figuur ontstaat.

Valt de veldsterkte vanaf kleinere maximaalwaarden op nul terug, dan verloopt de inductie naar gelang van de bereikte beginwaarde volgens de krommen *1*, *2* of *3*. Er blijft dus bij de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

veldsterke nul een zekere restinductie over.

De kleine lussen op verschillende plaatsen van het diagram geven het verloop van de inductie aan, indien het ijzer na de bovenbeschreven behandeling aan een wisselveld van kleine veldsterkte onderworpen is. De gemiddelde helling van deze lussen noemt men de wisselstroompermeabiliteit.

Deze wisselstroompermeabiliteit is in verschillende deelen van het diagram verschillend. R. Gans heeft wel het eerst op het merkwaardige feit gewezen, dat haar waarde bijna alleen door het bedrag van de inductie bepaald is en slechts weinig van de veldsterkte afhangt. De lussen met dezelfde ordinaat in de teekening loopen dus evenwijdig: de permeabiliteit voor wisselstroom is het grootste voor $B = 0$ en daalt met toenemende inductie eerst langzaam en dan sneller.

Uit deze feiten volgt nu, dat de permeabiliteit voor wisselstroom voor een veldsterkte nul, welke voor Pupinspoelen alleen van belang is, afhangt van de „magnetische vóórgeschiedenis" en wel des te meer, naarmate grootere restinducties kunnen voorkomen. Men noemt dit verschijnsel instabiliteit.

Verbetering van magnetische kernen

De geschetste gebreken van massieve ijzerkernen trachtte men nu op twee manieren op te heffen.

In de eerste plaats bracht een doelmatig gekozen onderverdeeling van de kern door tusschenvlakken uit isoleerend, niet-magnetisch materiaal verbetering. Men dient hier te onderscheiden tusschen de invloed van dergelijke vlakken

a) evenwijdig aan de krachtlijnen en

b) loodrecht op deze.

Wij zullen zien, dat spleetvlakken evenwijdig aan de krachtlijnen de wervelstroomen verminderen zonder de magnetische eigenschappen van het materiaal te beinvloeden. Met behulp van spleetvlakken loodrecht op de krachtlijnen is het mogelijk, de hysteresisverliezen en de instabiliteit van de kern zeer veel kleiner te maken. Hiertoe hoeft men aan de magnetische eigenschappen van het materiaal zelf geen andere eischen te stellen dan een zoo hoog mogelijke permeabiliteit.

Daarnaast slaagde men er in, door een geschikte legeering en doelmatige mechanische en thermische behandeling de hysteresis en instabiliteit van het magnetische materiaal zelf tot een weinig storend restant terug te brengen. De vlakken genoemd onder b) komen dan te vervallen doch die onder a) blijven ook in dit geval noodzakelijk.

Spleetvlakken evenwijdig aan de krachtlijnen

Fig. 2 toont een stuk van een kern, die onderverdeeld is evenwijdig aan de krachtlijnen. De inductie, die in de kern door de veldsterkte wordt opgewekt, ondergaat hierdoor geen verandering. Op de magnetische eigenschappen heeft deze onderverdeeling dus geen invloed. Daarentegen is het duidelijk, dat de wervelstroomverliezen door voldoend fijne onderverdeeling willekeurig klein gemaakt kunnen worden. In de figuur is de loop van de wervelstroomen geteekend.

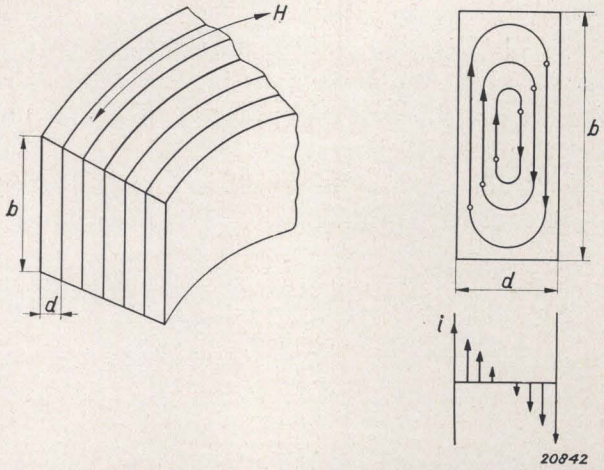


Fig. 2. Deel van een kern met verdeeling door spleten in de veldrichting. De wervelstroomen nemen hierdoor af. Het schema rechts geeft aan, hoe de wervelstroomen verloopen.

Wanneer de inductie B sinusvormig wisselt met de frequentie ω, dan is de effectieve spanning aan de buitenkant van ieder element:

$$u_{eff} = \omega\, B_{eff} \cdot d \cdot b \cdot 10^{-8} \text{ volt.}$$

De energie-ontwikkeling q per secunde en eenheid van volume is nu gelijk aan het kwadraat van de electrische veldsterkte gedeeld door de soortelijke weerstand. Aan de buitenkant van ieder element is de electrische veldsterkte gelijk aan $u_{eff}/2b$ en wordt dus:

$$q = \left(\frac{u_{eff}}{2\,b}\right)^2 \cdot \frac{1}{\varrho} = B_{eff}^{\,2}\, \omega^2\, d^2/4\, \varrho \cdot 10^{-16} \text{ watt/cm}^3.$$

Meer naar binnen worden de wervelstroomen steeds kleiner en dus ook de ontwikkelde energie. Men kan eenvoudig berekenen, dat de gemiddelde wervelstroomverliezen per cm³ van het kernmateriaal $^1/_3$ bedragen van de in het voorafgaande berekende waarde.

De verliezen nemen dus toe met de tweede machten van de frequentie, de inductie en de banddikte. Door voldoende vèrgaande onderverdeeling van de kern kan men de verliezen onbelangrijk maken.

Het verdient opmerking, dat een verdeeling van de kern in draden ten opzichte van die in band geen groote verbetering met zich meebrengt. De wervelstroomverliezen van een draadkern zijn

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

slechts tweemaal kleiner dan die van een kern bestaande uit band van dezelfde dikte als de draad.

Spleetvlakken loodrecht op de krachtlijnen

Onderbreekt men de weg van de krachtlijnen door vlakken loodrecht op het veld (volgens *fig. 3*), dan daalt de inductie; sterker dan deze nemen echter de instabiliteit en de hysteresis af. Men bereikt zoo bij dezelfde zelfinductie een vermindering der verliezen door de hysteresis.

Om dit in te zien, willen we aan de hand van *fig. 3* nagaan, hoe de inductie in de kern afhangt van de gemiddelde veldsterkte H, dwz. van het aantal amperewindingen.

De veldsterkte in een voldoend smalle spleet loodrecht op de krachtlijnen is gelijk aan de inductie

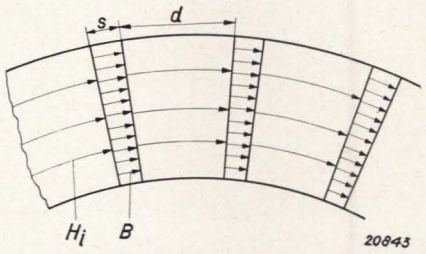


Fig. 3. Verdeeling door spleten loodrecht op de veldrichting. Bij gegeven gemiddelde veldsterkte $H = \frac{B_i s + H_i d}{s + d}$ neemt door deze verdeeling het inwendige veld H_i in het magnetische materiaal af. Tegelijk daarmede worden de verliezen tengevolge van de hysteresis en de instabiliteit minder.

in het magnetisch materiaal. Voor de gemiddelde veldsterkte verkrijgt men dus, met de notatie van fig. 3:

$$H = \frac{Bs + H_i d}{s+d} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Bij een voldoend hooge permeabiliteit is B vele malen grooter dan H_i, zoodat bij een niet te nauwe spleet

$$H_i d \ll B s \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

Men kan dan in verg. (5) $H_i d$ verwaarloozen, zonder een groote fout te maken en vindt:

$$B = \left(1 + \frac{d}{s}\right) H \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

Dan bestaat dus een volkomen lineair verband tusschen B en H. De hysteresis en instabiliteit verdwijnen en de permeabiliteit wordt onafhankelijk van de eigenschappen van het ijzer:

$$\mu = 1 + \frac{d}{s} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

In werkelijkheid zal het inwendige veld H_i niet volkomen nul worden en blijft er dus een zekere instabiliteit en hysteresis over. Het is duidelijk, dat deze des te kleiner zullen worden, hoe beter aan de voorwaarde (6) is voldaan.

Door s/d grooter te maken, heeft men het in de hand beter aan de voorwaarde te voldoen en dus de hysteresisverliezen te verminderen. Hierbij gaat echter volgens verg. (8) de permeabiliteit omlaag. Dientengevolge zullen de gezamenlijke verliezen van een pupinspoel bij vergrooting van de spleten boven een bepaalde grens weer gaan toenemen. Bij afnemende permeabiliteit wordt namelijk het windingsgetal, dat voor dezelfde zelfinductie noodig is, grooter en hierdoor nemen bij gegeven afmetingen de verliezen in het koper toe. Bij elkaar genomen zijn de verliezen het kleinste, indien de ijzerverliezen gelijk zijn aan de koperverliezen.

Poederkernen

De dubbele verdeeling van de kern door vlakken evenwijdig en loodrecht op de krachtlijnen wordt practisch verwezenlijkt in de zg. poederkernen. Deze bestaan uit korreltjes van magnetisch materiaal, die samen met een bindmiddel in de gewenschte vorm geperst worden. Een goede isolatie van de korreltjes is noodig ter vermijding van wervelstroomverliezen. Natuurlijk is een hooge permeabiliteit gewenscht, wat hooge eischen stelt aan de dichtheid der pakking. Verder moeten de poederkorrels goed rond en zonder hoeken of randen zijn. Daardoor vermijdt men plaatselijk hooge inducties in het materiaal en daarmede optredende hysteresisverliezen. Verder bereikt men met de ronde vorm gemakkelijk goede isolatie.

De korrelgrootte is niet slechts voor de wervelstroomverliezen belangrijk. Weliswaar komt voor de hysteresisverschijnselen alleen de verhouding van de wegen der krachtlijnen in ijzer en spleet in de berekening voor, maar bij groote isolatiewegen ontstaan strooivelden en onsymmetrieën, die men in Pupinspoelen beslist moet vermijden. Samenstelling van de kern uit kleine poederkorreltjes is een ongedwongen oplossing van deze moeilijkheden.

Pupinkernen zonder spleten

Reeds vroeger werd opgemerkt, dat het in het Philips laboratorium gelukt is, de magnetische eigenschappen van bepaalde legeeringen van ijzer en nikkel door een geschikte wals- en gloeibehandeling dusdanig te verbeteren, dat spleten loodrecht op de krachtlijnen niet noodig zijn. Dit materiaal behoeft dus niet verpoederd te worden. De onderverdeeling van de kern volgens fig. 2 is dan vol-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

doende. Deze wordt bereikt door de Pupinkernen uit bandmateriaal te wikkelen, waarvan het oppervlak door lak geïsoleerd wordt. De permeabiliteit van deze kernen is weliswaar kleiner dan bijv. die van ijzere kernen voor transformatoren, maar toch dubbel zoo groot als die van de toen beschikbare poederkernen. Hierdoor werd een belangrijke volumevermindering der Pupinspoelen verkregen.

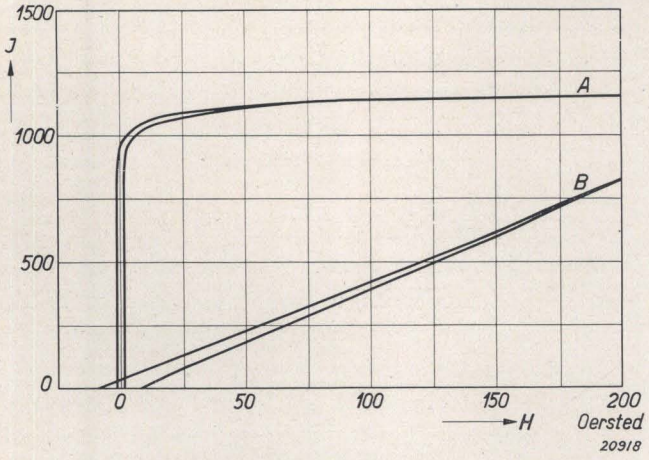


Fig. 4 Magnetisatiekrommen van nikkelijzerband voor Pupinspoelen.
A. Magneetveld loodrecht op de walsrichting,
B. Magneetveld parallel aan de walsrichting.

Fig. 4B toont de magnetisatiekromme van dit materiaal in de walsrichting, die samenvalt met de richting der krachtlijnen in de spoel. De kromme is gekarakteriseerd door een zeer kleine remanentie. Daar dientengevolge slechts kleine restinducties kunnen optreden, kan men ook een slechts geringe instabiliteit verwachten, zooals volgt uit het boven beschreven verband tusschen restinductie en wisselstroompermeabiliteit. Men ziet verder uit de kromme, dat over een groot gebied het verband tusschen *B* en *H* lineair is.

Een geheel afwijkend gedrag toont de kromme, indien men de magnetische eigenschappen in het vlak van de band loodrecht op de walsrichting onderzoekt. Fig. 4*A* geeft de magnetisatiekromme, die in dit geval verkregen wordt. In tegenstelling met de kromme fig. 4*B* vertoont deze kromme, een buitengewoon hooge remanentie (90 % der verzadiging) en een sterk gekromd verband tusschen *B* en *H*. Het vermoeden, dat de wisselstroompermeabiliteit, de instabiliteit en de hysteresis bij magnetisatie in deze richting veel ongunstiger zijn dan in de walsrichting, wordt bevestigd door de metingen.

In de derde hoofdrichting loodrecht op het bandvlak is de magnetisatiekromme slechts met behulp van bijzondere maatregelen te meten. Ze heeft hetzelfde karakter als de magnetisatiekromme in de walsrichting (fig. 4*B*).

Daar de magnetisatie alleen in de walsrichting plaats heeft, zijn de beide andere magnetisatiekrommen voor de practijk van gering belang. Voor het begrip der verschijnselen zijn ze echter interessant, daar ze ons een inzicht geven, hoe de gunstige eigenschappen in de walsrichting tot stand komen. Daarvoor is het gewenscht kort terug te gaan tot de algemeene oorzaken van hysteresis en remanentie.

Oorzaken der hysteresis en remanentie

P. Weiss ging uit van de hypothese, dat in ferromagnetische stoffen een kracht bestaat, die de atomaire magneten telkens in bepaalde gebieden in dezelfde richting dwingt *(fig. 5)*. Deze gebieden

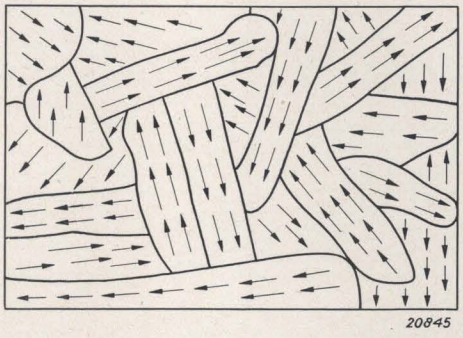


Fig. 5. Gebieden volgens Weiss. Niet-magnetisch ijzer bestaat uit submicroscopisch kleine gebieden, welke magnetisch verzadigd zijn. Het magneetveld van deze gebieden is buiten het metaal niet merkbaar, daar hun magnetisatierichtingen willekeurig verdeeld zijn.

zijn magnetisch verzadigd, hun richtingen van magnetisatie liggen echter in het algemeen volkomen willekeurig, zoodat de stof macroscopisch onmagnetisch schijnt.

De richting van magnetisatie is volgens Weiss vrij draaibaar; binnen één bepaald gebied is ze echter voor alle atomen dezelfde. Indien slechts een zwak veld in het magnetisch materiaal aanwezig is, dan draaien de magnetisatierichtingen van alle gebieden in de veldrichting, Het materiaal is dan onmiddellijk magnetisch verzadigd.

Nu zijn er materialen, die zich werkelijk zoo gedragen. Bij andere zijn voor het bereiken van de verzadiging belangrijke velden noodig. Dit is door Becker verklaard, die aantoonde, dat de magnetisatie bij deze stoffen niet vrij is, maar gebonden aan bepaalde voorkeursrichtingen. De binding aan de richting van voorkeur kan men zich denken als bij de schakelaar in *fig. 6*. De pijl op deze schakelaar staat even graag naar links als naar rechts. In iedere tusschenstand springt hij echter in een van de voorkeursrichtingen terug.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Deze richting zal in het algemeen bij de verschillende gebieden willekeurig verdeeld zijn (fig. 5).

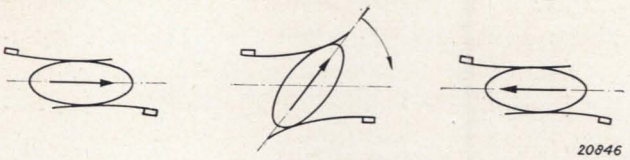


Fig. 6. Voorstelling van de krachten, werkzaam op de pijl, die de richting van de magnetisatie aangeeft, bij aanwezigheid van een richting van voorkeur. De magnetische inductie is óf rechts óf links gericht; uit iedere andere richting zoekt ze één van deze richtingen op.

De verklaring van de hysteresis wordt echter bijzonder eenvoudig, indien we het geval beschouwen, waarin alle gebiedjes dezelfde voorkeursrichting bezitten *(fig. 7)*. Wij gaan uit van de onmagnetische

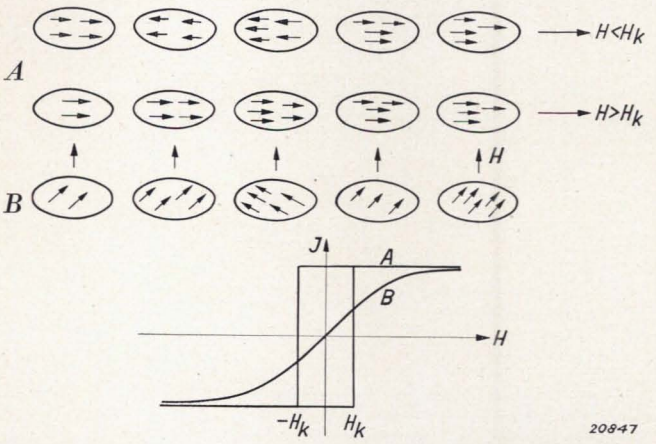


Fig. 7. Werking van een magneetveld op de inductie, wanneer in alle gebieden volgens Weiss dezelfde richting van voorkeur bestaat.

A. Veld in de richting van voorkeur. De begintoestand is niet magnetisch; de helft van de pijlen is tegengesteld aan het veld gericht.
Een veld zwakker dan H_k heeft geen werking.
Een veld sterker dan H_k legt de tegengesteld gerichte pijlen om. Het ijzer is magnetisch verzadigd en blijft het ook bij vermindering van het veld (hysteresis).

B. Veld, loodrecht op de richting van voorkeur. De magnetische pijlen worden gedraaid, klappen echter niet om. Het materiaal is dus vrij van hysteresis en vertoont tot vrij hooge veldsterkten een constante permeabiliteit.

De krommen *A* en *B* toonen de in de gevallen *A* en *B* verkregen magnetisatiekrommen. Deze komen eenigszins overeen met de krommen *A* en *B* van fig. 4 en leveren zoo een verklaring voor de magnetische eigenschappen van het nieuwe Pupinmateriaal.

toestand. De helft van de gebiedsmagnetisaties staat in dit geval naar rechts, de andere helft naar links. Wat gebeurt er nu, indien we een naar rechts gericht veld langzaam laten toenemen? Zoolang de veldsterkte niet voldoende is om de elastische binding aan de richting met voorkeur te overwinnen, blijft de toestand dezelfde. Bij een zekere kritische veldsterkte H_k worden echter de naar links gerichte „schakelaars omgeschakeld". Plotseling wordt de verzadiging bereikt. Brengt men het veld op nul terug, dan blijft de verzadigingsmagnetisatie H_k staan. Eerst bij het tegenveld $-H_k$ springen alle magneten gelijktijdig in de omgekeerde richting. Zoo ontstaat de magnetisatiekromme *A* in fig. 7.

Wij willen nu voor hetzelfde model de werking van een magneetveld loodrecht op de richting van voorkeur beschouwen. Reeds bij de kleinste veldsterkte beginnen magnetisatierichtingen te draaien. Omklapprocessen komen echter niet voor. De magneetjes draaien met toenemende veldsterkten steeds meer in de richting van het veld. Bij het afnemen van het veld gaan ze in hun oorspronkelijke stand terug. Zoo ontstaat de magnetisatiekromme *B*.

Zijn de richtingen van voorkeur willekeurig verdeeld, dan vindt de magnetisatie plaats door een combinatie van draai- en omklapprocessen [3]). Wij willen daarop niet nader ingaan, want ons vereenvoudigd model blijkt reeds zeer goed geschikt te zijn, om de magnetische eigenschappen van het Pupinbandmateriaal te verklaren, indien we veronderstellen, dat de voorkeursrichting der magnetisatie in het vlak van het band, loodrecht op de walsrichting ligt. Dit blijkt uit de treffende overeenstemming van de schematische krommen van fig. 7*A*,*B* met de gemeten krommen fig. 4 *A*,*B*.

Voor de vervaardiging is het van groot belang te begrijpen, hoe zulk een gemeenschappelijke richting van voorkeur ontstaat. Geheel opgehelderd is dit nog niet. De theorie van Becker kent twee oorzaken hiervoor.

In de eerste plaats bestaat bij de meeste ferromagnetische stoffen een richting van voorkeur voor de magnetisatie ten opzichte van de kristalassen. Bij kubische ijzerkristallen zijn de ribben van de kubus richtingen van voorkeur. Bij kubische nikkelkristallen de vier richtingen der kubusdiagonalen.

In de tweede plaats kunnen inwendige spanningen nieuwe richtingen van voorkeur leveren; bij ijzer bestaat voorkeur voor de richting van de grootste trek, bij nikkel voor die van de sterkste druk [4]).

Het is echter moeilijk uit te maken, of een van deze factoren voor de eigenschappen van het nieuwe materiaal een beslissende rol speelt. Men zou geneigd zijn, een invloed van de eerste factor te verwachten, daar de magnetische richting van

---

[3]) Uit een nadere studie van de omklapprocessen blijkt, dat de voorstelling, waarbij de elementaire gebiedjes onveranderlijk van vorm en grootte verondersteld worden, te eenvoudig is. In het bijzonder vindt de magnetisatie bij zwakke velden plaats doordat magnetisch gunstig gelegen gebiedjes uitgroeien ten koste van andere.

[4]) Feitelijk speelt ook de oriëntatie van de spanningen ten opzichte van de kristalassen een rol. Zie bijv. R. Becker, Phys. Z. **33**, 905, 1932.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

voorkeur in het bandmateriaal ook kristallografisch een speciale beteekenis heeft. Afgezien van een geringe strooiïng liggen nl. de kristallieten zoo, dat de assen van de kubus met de lengte-, breedte- en dikterichting van de band overeenstemmen. Aan de andere kant is de voorkeur voor bepaalde magnetisatierichtingen in de kristallen van de geheele reeks der legeeringen van ijzer en nikkel, die hier in aanmerking komen (30 % - 70 % Ni), veel te zwak om de waarnemingen kwantitatief te verklaren. Voor één bepaalde legeering van deze reeks (65 % Ni) zijn de verschillende richtingen in het kristal zelfs magnetisch volkomen gelijkwaardig. Toch vertoont ook deze na een overeenkomstige behandeling hetzelfde gedrag als de andere. De speciale textuur van het materiaal kan dus het magnetische gedrag onmogelijk alleen verklaren. Dit volgt ook reeds daaruit, dat de geheel verschillende magnetisatiekrommen *A* en *B* overeenkomen met kristallografisch gelijkwaardige richtingen. Inderdaad treedt de gewenschte magnetisatiekromme *B* eerst op, wanneer na het tot stand komen van de textuur door uitwalsen en rekristalliseeren nog een tweede keer gewalst wordt. In het artikel over röntgenografisch onderzoek in deze aflevering is de vervaardiging van het Pupinmateriaal nader beschreven en röntgenografisch nagegaan.

Een opmerkelijk feit is, dat bij het tweede walsproces de kristallen in hoofdzaak hun stand behouden. Het glijden der kristallieten moet in zulk een georiënteerd materiaal dus anders gebeuren dan in normale gevallen, want in het algemeen blijft na een zoo sterk walsen, als hier gebeurt, van de oorspronkelijke textuur niets over.

De ervaringen bij de vervaardiging laten vermoeden, dat de door deze afwijkende wijze van glijden der kristallieten veroorzaakte bijzondere spanningsverdeeling noodzakelijk is om een voorkeur van magnetisatie loodrecht op de walsrichting te verkrijgen. Het is echter niet gelukt, een systeem van spanningen aan te geven, dat bij de gegeven legeering de waargenomen verschijnselen zou kunnen veroorzaken. Mogelijk zijn dus nog andere, tot dusverre niet onderzochte processen van invloed op de magnetische eigenschappen.

Digitized by www.freeservicemanuals.info

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

APPARAAT VOOR HET UITVOEREN VAN HYSTERESISMETINGEN AAN MAGNETISCH WEEK MATERIAAL

door J. J. WENT.

Samenvatting. Voor het uitvoeren van hysteresismetingen aan magnetisch week materiaal gebruikt men liefst een proefobject in de vorm van een gesloten ring, die zich bevindt in een ringvormige magnetiseeringsspoel. Teneinde de ring in en uit de spoel te kunnen brengen is deze in twee deelen uitgevoerd, die op het ringvlak aan elkaar sluiten en contact maken.

Om de hysteresis van een magnetisch materiaal te onderzoeken moet men het onderlinge verband tusschen magnetische veldsterkte H en inductie B bepalen. Het is voor de bepaling van dit verband steeds gewenscht, een methode toe te passen, waarbij de veldsterkte in het geheele proefobject nauwkeurig is te berekenen en constant is, anders vindt men niet de waarde van de inductie B, die behoort bij één waarde van H.

Aan deze beide eischen voldoen proefobjecten in de vorm:

a) van een ellipsoïde

b) van een gesloten cirkelvormige ring.

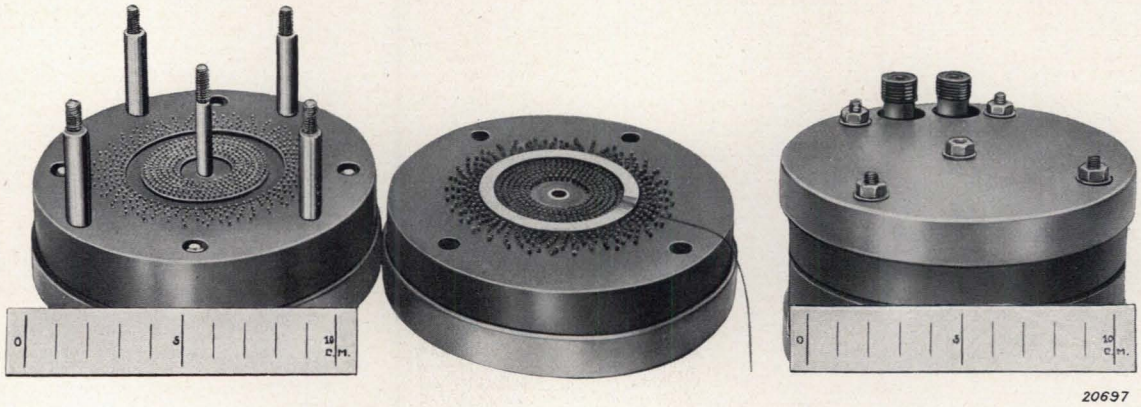
a) De ellipsoïde wordt in een homogeen magneetveld geplaatst. De optredende inductie kan nu bepaald worden door bijv. de afwijking van een magneetnaald tengevolge van de aanwezigheid van het gemagnetiseerde proefobject te meten. Deze opstelling heeft het voordeel, dat zij mathematisch exact een homogeen veld in het proefobject waarborgt en dat het magnetiseeren gemakkelijk is uit te voeren. Daar staan tegenover het bezwaar, dat men een ellipsoïde niet gemakkelijk nauwkeurig kan maken. Verder ontstaan speciaal bij week ijzer nog moeilijkheden, doordat een gedeelte van de weg van de krachtlijnen door de lucht verloopt. Dit is bij magnetisch weeke materialen een groot bezwaar, omdat deze dan een sterke ontmagnetisatie vertoonen, waardoor de nauwkeurige bepaling van de magnetische veldsterkte in het ijzer zeer bemoeilijkt wordt. Bovendien is de meting sterk onderhevig aan storingen door uitwendige velden, veroorzaakt door ijzer of electrische stroomen in de omgeving.

b) Om deze redenen wordt dan ook voor magnetisch week materiaal bij voorkeur een proefstuk in de vorm van een gesloten ring toegepast. Deze ring wordt door een gelijkmatig er om heen gewikkelde primaire spoel gemagnetiseerd. De inductie B wordt bepaald, door met behulp van een ballistische galvanometer het bij een verandering van de veldsterkte in een tweede spoel geinduceerde aantal voltsecunden (Vsec) te meten. Dan is:

$$B = \frac{\text{Vsec}}{f\,n} \cdot 10^8 \text{ gauss},$$

waarbij f de doorsnede van het ijzer en n het aantal windingen van de secundaire spoel is.

Aan de hier beschreven meetmethode moeten nog de volgende eischen worden gesteld:



a b c

Fig. 1. Foto van de tweedeelige spoel voor het uitvoeren van hysteresismetingen.
a) bovenste helft, b) onderste helft met ijzeren ring, c) beide deelen samen.
In b) ziet men het secundaire spoeltje, dat om de ijzeren ring heen is gewikkeld.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

1) De ring van het proefmateriaal moet gesloten zijn; er mag dus geen luchtspleet in voorkomen, daar tengevolge van zoo'n luchtspleet ontmagnetisatie zou optreden en dus de veldsterkte niet meer exact is te bepalen uit de stroom door en het aantal windingen van de primaire spoel.
2) De ring moet overal een even groote doorsnede hebben.
3) De omtrek aan de binnenkant van de ring moet weinig verschillen van die aan de buitenkant van de ring; anders zou de veldsterkte niet overal dezelfde zijn, want langs iedere krachtlijn heeft $\int H\,ds$ = veldsterkte × omtrek dezelfde waarde.
4) De primaire spoel moet over de heele ring gelijkmatig verdeeld zijn.

Tengevolge van eisch 1) kan men dus niet de ring in stukken verdeelen, die in een vaste spoel geschoven kunnen worden, maar iedere ring moet van een nieuw stel wikkelingen worden voorzien. Om aan dit tijdroovende bezwaar te ontkomen, is een spoel geconstrueerd, die uit twee helften bestaat, welke om de te onderzoeken ring heen tot een spoel kunnen worden gesloten (zie *fig. 1*). Aan de eischen 2) en 4) is verder zonder moeite te voldoen, terwijl de afmetingen van de ring zoo worden gekozen, dat eisch 3) een fout van maximaal 0,2 % tengevolge kan hebben, indien men als veldsterkte aanneemt dié veldsterkte, welke geldt op de gemiddelde diameter van de ring.

Constructie van de spoel

Twee ebonieten schijven A' en A'' (zie *fig. 2* rechterhelft) van 120 mm diameter en 20 mm dikte

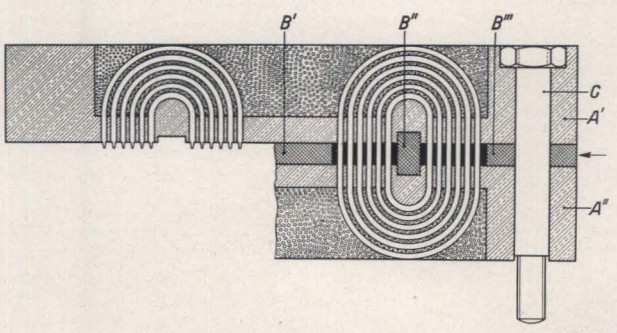


Fig. 2. Doorsnede van de tweedeelige spoel. A' en A'' ebonietschijven, C stelpennen, B', $''B$ en B''' opvulplaten.

worden zoo uitgedraaid, dat er een breede rand blijft staan, waardoor de twee schijven met vier stelpennen C volkomen gefixeerd ten opzichte van elkaar komen te zitten. Tusschen de schijven in worden tijdelijk een opvulplaat B' en twee opvulringen B'' en B''' aangebracht, waarbij B'' op de plaats van het later te meten monster komt te zitten. Nu worden op zes cirkels, zoowel binnen als buiten B'', respectievelijk 66, 60, 55, 45, 40 en 32 gaten van 1,5 mm diameter door de twee schijven heengeboord. Deze gaten zijn gelijkmatig over de cirkels verdeeld; zoodoende is er op de binnenste cirkels voor ieder gat ca. 4 mm² ruimte beschikbaar. Een lange geëmailleerde koperdraad (1,5 mm diameter) wordt nu door alle gaten heengewikkeld, te beginnen met de windingen, die het dichtst om B'' heen zitten. Zoodra een laag windingen klaar is, wordt de draad nog een keer gevernist en daarna tot een glad oppervlak dichtgesmeerd met een mengsel van loodglit en glycerine, dat zeer snel hard wordt. Wanneer zoo tenslotte de zesde laag is volgewikkeld, wordt de geheele schijf verder met dit mengsel volgesmeerd. Onder en boven worden nu de twee schijven afgesloten met een paar vlakke ebonietplaten, die op de breede rand kunnen worden vastgeschroefd. Dan worden de stelpennen verwijderd en het geheel in de pijlrichting doorgezaagd. In de eene schijf worden nu alle uitstekende koperpunten met een speciaal hol freesje tot een conische punt afgedraaid (zie linkerhelft fig. 1), terwijl in de andere schijf in de koperpunten geheel overeenkomstige conische gaten worden geboord. Natuurlijk worden de tijdelijke opvulstukken B nu weer verwijderd. Het blijkt, dat, wanneer de schijven thans weer op elkaar worden geplaatst, door het aantrekken van de moeren der stelpennen alle 596 contacten tegelijkertijd kunnen worden gesloten, terwijl de contactweerstand zoo gering is, dat de weerstand van het geheel ca. 1,5 ohm bedraagt; deze weerstand blijkt verder voldoende constant te zijn. De twee ebonieten schijven worden tusschen twee messingplaten aangetrokken, zooals fig. 1c) toont, om er voor zorg te dragen, dat ze bij het vasttrekken volmaakt vlak blijven.

De door de stroom in de primaire spoel geproduceerde warmte is, dank zij de kleine contactweerstand zeer gering. Bij een stroomsterkte van 5A, hetgeen overeenkomt met een veldsterkte van ca. 120 oersted, bedraagt de temperatuurstijging van de ring ongeveer 1 °C per minuut. Het is dus mogelijk, ook metingen bij relatief hooge veldsterkten uit te voeren, indien dit gewenscht wordt.

Voor een meting worden nu een of meerdere ringen van het te onderzoeken magnetisch materiaal, tot een totale dikte van maximaal 4 mm met een binnen- en buitendiameter van resp. 45 en 55 mm genomen. Hieromheen worden, geïsoleerd door een laagje papier van 10 μ dik, 3 tot 10 windingen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

Digitized by www.freeservicemanuals.info
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

draad van 100 μ als secundaire spoel gewikkeld, al naar gelang de dikte van de ring(en). Nu wordt dit geheel in de spoel gelegd en deze gesloten, waarna het geheel voor de gebruikelijke ballistische metingen gereed is.

Eerst wordt door een sterke stroom (bijv. 6 A) door de primaire spoel de ring zoo sterk gemagnetiseerd, dat een magnetische toestand bereikt wordt, die buiten het gebied van hysteresis ligt (bijv. A in *fig. 3*). Laat men hierna de stroom weer afnemen tot nul, dan wordt dus het veld $H = 0$. De ring behoudt dan nog de inductie B_r, die men remanentie noemt. De grootte van deze remanentie kan eenvoudig gemeten worden door de inductiestroomen in de secundaire spoel te meten, indien men

a) weer een stroom van 6 A inschakelt en dus de inductieverandering B_r-A' meet,

b) een stroom van —6A inschakelt en dus de inductieverandering B_r-C' meet.

Uit de figuur volgt nu direct voor de remanentie $^1/_2$ (B_r-C' — B_r-A') en voor de magnetisatie bij een veldsterkte die correspondeert met 6 A $^1/_2$ (B_r-C' + B_r-A'). Hierbij is verondersteld, dat de hysteresiskrommen voor positieve en negatieve velden identiek zijn. De verdere punten van de hysteresislus verkrijgt men door van A uit te gaan en de veldsterkte te verminderen, of van B_r uit te gaan en negatieve veldsterkten in te schakelen.

Wil men tenslotte ook nog de maagdelijke kromme opnemen, dan moet de ring eerst geheel worden ontmagnetiseerd, hetgeen kan gebeuren met een wisselstroom van geleidelijk afnemende sterkte; hierna kan dus direct bij het aanbrengen van een veld van bekende sterkte de hierbij behoorende inductie worden bepaald.

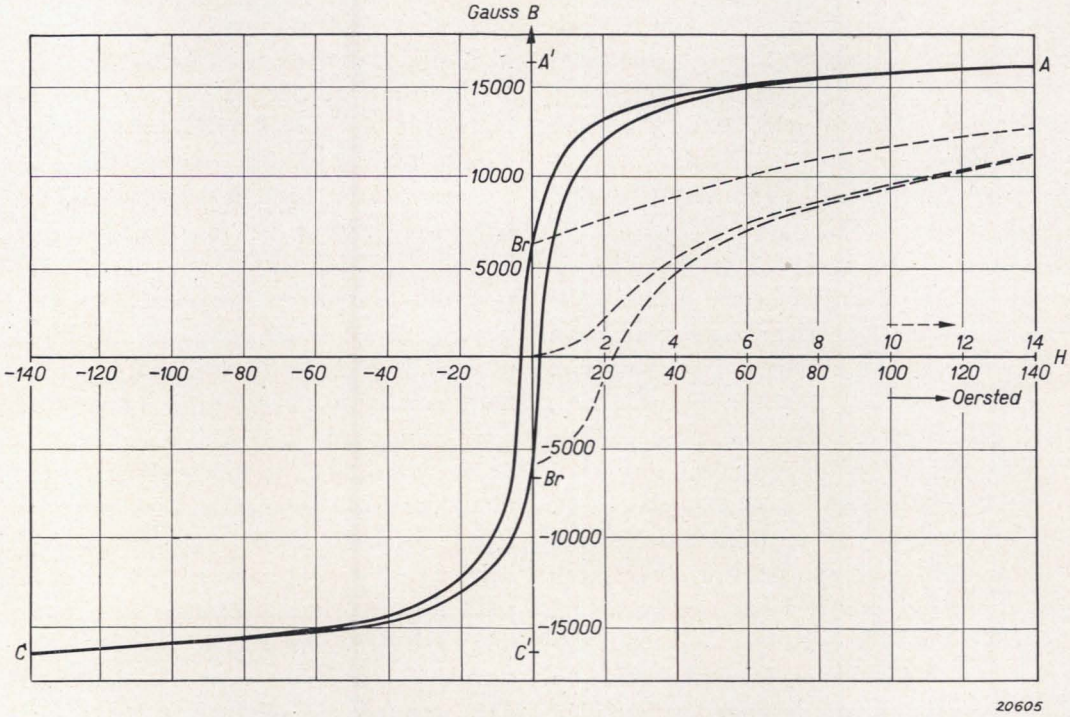


Fig. 3. Magnetisatiekromme van week ijzer. De gestippelde krommen geven de inductie weer, uitgezet tegen een tienmaal vergroote schaal van de veldsterkte.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

HET GLAS IN DE MODERNE LAMPEN

door J. SMELT.

Samenvatting. Besproken wordt, welke opvattingen tegenwoordig bestaan over de aard van het glas. De taai-vloeibare toestand kan men begrijpen door het glas in deze toestand te zien als een polymerisatie met groote molecuulgroepen. Het glas voor de ballons en het binnenwerk van de gloei- en ontladingslampen moeten aan zeer bepaalde eischen voldoen. Hoe deze vervuld worden en welke factoren belangrijk zijn wordt beschreven.

Wat is glas?

Technisch is glas een doorzichtige, mechanisch vaste, chemisch moeilijk aan te tasten stof, die in vloeibare of taai-vloeibare toestand tot allerlei vormen te verwerken is. Meestal wordt het bereid uit zeer goedkoope grondstoffen, zooals zand, soda en kalk.

Physisch kan glas beschouwd worden als een onderkoelde vloeistof bestaande uit een oplossing van silicaten in kiezelzuur. De nieuwere onderzoekingen hebben echter aangetoond, dat deze eenvoudige definitie niet geheel aan de feiten beantwoordt. Men meent tegenwoordig aan te moeten nemen, dat bij glas door verandering van de temperatuur minstens drie aggregatie-toestanden in elkander kunnen overgaan.

Boven een bepaalde temperatuur, die voor een normaalglas (Na_2O-CaO-$6SiO_2$) bij ongeveer 1200 ° C ligt, is glas te beschouwen als een vloeistof. Men heeft deze temperatuur *de aggregatietemperatuur* genoemd. Uitkristalliseeren, hetgeen men bij glas „*ontglazing*" noemt, is boven deze temperatuur niet mogelijk. De viscositeit verandert in dit gebied slechts weinig met de temperatuur en bedraagt ongeveer 400 c.g.s. eenheden. Dit is, om de gedachten te fixeeren, het 10-voudige van glycerine.

Beneden deze temperatuur komt men in het gebied van de taai-vloeibare toestand. Hier verandert de viscositeit zeer sterk met de temperatuur en verdubbelt met ongeveer elke 9 °C temperatuurdaling. Deze sterke verandering van de inwendige wrijving is kenmerkend voor deze toestand. Men noemt hem wel eens „de vierde toestand" van de materie. In dit gebied kan, indien de omstandigheden er althans gunstig voor zijn, d.w.z. indien het glas bij voorbeeld langere tijd in deze taai-vloeibare toestand gehouden wordt, ontglazing optreden. Er vormen zich dan in het heldere glas kleine kristallen, die zoo talrijk kunnen worden, dat het glas tenslotte een ondoorzichtige massa wordt. Meestal neemt men aan, dat bij verdere afkoeling dit taai-vloeibare glas steeds minder vloeibaar wordt en tenslotte geleidelijk stolt tot een vaste massa.

Verschillende eigenschappen van het glas, zooals de viscositeit, de thermische uitzetting en de electrische weerstand vertoonen echter bij 500 - 600 °C anomaliën. Tot in dit temperatuurgebied moet men de meeste glassoorten ook verwarmen, zoo men mechanische spanningen, die dikwijls door snelle afkoeling voorkomen en tot springen van het glas aanleiding kunnen geven, wil verwijderen. Voor een bepaald glas noemt men deze vrij scherp gedefinieerde temperatuur de *ontspanningstemperatuur*. De anomaliën schijnen er op te wijzen, dat bij die ontspanningstemperatuur discontinue veranderingen plaats hebben.

In *fig. 1* is het gedrag van verschillende eigenschappen van glas als functie van de temperatuur weergegeven [1]). De discontinue verandering in de genoemde eigenschappen, die bij de ontspanningstemperatuur optreedt, blijkt duidelijk. Bij nog lagere temperatuur verandert het glas slechts weinig in viscositeit. De neiging tot ontglazing is verdwenen, het glas is bros, gemakkelijk breekbaar, zooals wij het kennen.

De verklaring van de beschreven verschijnselen meent men gevonden te hebben in een polymerisatie van de silicaten, d.w.z. in het vormen van molecuulzwermen. Boven de aggregatietemperatuur bestaan slechts ionen, zooals in gewone normale vloeibare oplossingen Na^+, Ca^{++}, SiO_3^{--} en moleculen SiO_2. Bij de aggregatietemperatuur beginnen moleculen en ionen zich tot hoogere polymeren te verbinden (bijv. SiO_2-SiO_2-SiO_2 en $Ca < \begin{matrix} SiO_2\text{-}SiO_3^{--} = SiO_2) \\ SiO_2\text{-}SiO_3^{--} = SiO_2). \end{matrix}$

Daarnaast blijven echter nog Na^+-ionen bestaan. In de taai-vloeibare toestand neemt die polymerisatie steeds meer toe, totdat bij de ontspanningstemperatuur ook de Na-ionen in het molecuul worden opgenomen en nog slechts polymere silicaten aanwezig zijn. Het geheele verloop is in tegenstelling met bijv. het hard worden van kunstharsen omkeerbaar, zoodat een gestold glas weer over de taai-

[1]) Zie: Berger, Glastechn. Ber. **5**, 396, 1927: Beitrag zur Frage nach der Natur des Glaszustandes.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

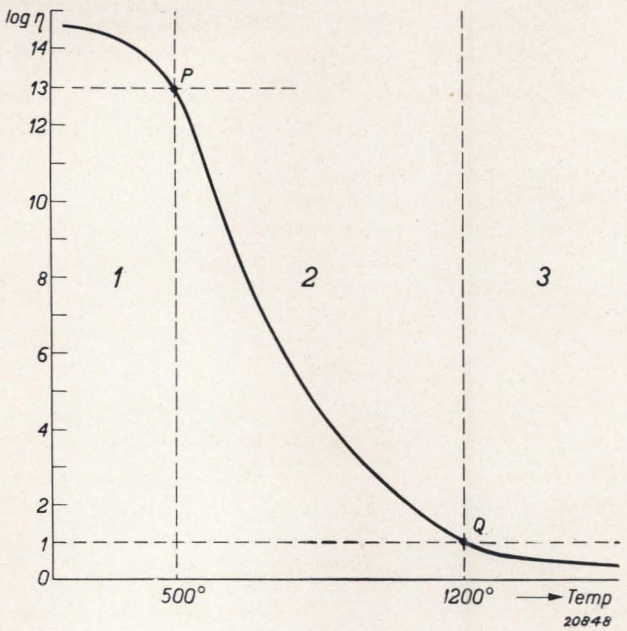


Fig. 1 *a*

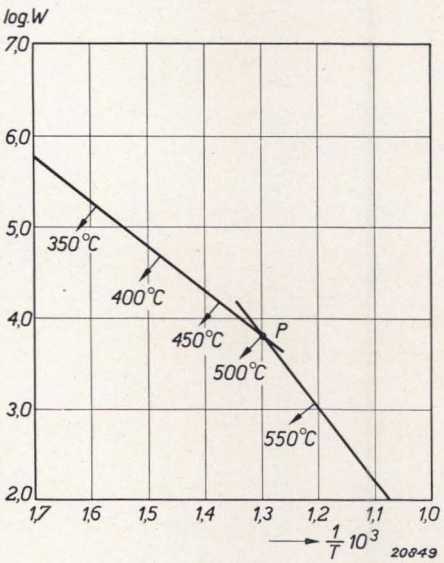


Fig. 1 *b*

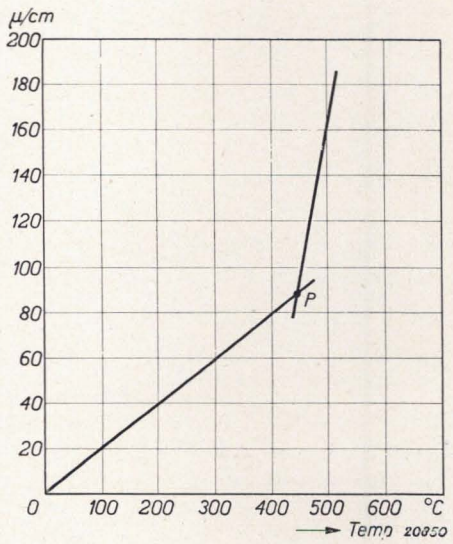


Fig. 1 *c*

Fig. 1. Gedrag *a*: van de viscositeit η. *b*: van de soortelijke electrische weerstand W, *c*: van de relatieve uitzetting in μ per cm als functie van de temperatuur (Temp beteekent °C, T beteeken, °K). In fig. 1*a* is *1* het gebied van „vast" glas, het gebied *2* is taai-vloeibaar en *3* is boven de aggregatietemperatuur gelegen. In deze figuren ligt *P* bij de ontspanningstemperatuur. In de figuren, *b* en *c*, die echter als schematisch te beschouwen zijn, is door scherpe knikken aangeduid, dat er plotselinge veranderingen in het spel zijn. In werkelijkheid is het verloop geleidelijker.

vloeibare toestand in de dun vloeibare phase terug kan worden gebracht.

Alvorens men zich echter verdiepen kon in het wezen van het glas, deed de behoefte aan glassoorten met andere, aanvankelijk vooral optische, eigenschappen de techniek zoeken naar andere glasvormende oxyden. Het resultaat was, dat thans het grootste deel der chemische elementen bij de glasfabricage wordt toegepast. Boorzuur en phosphorzuur gebruikt men in plaats van kiezelzuur. PbO, K_2O, MgO, BaO, ZnO zijn algemeen gebruikte glasoxyden. Fluoriden, die moeilijk of niet in oplossing gaan en gemakkelijk uitkristalliseeren, zijn hulpmiddelen om diffuseerende glassoorten te maken. Daarnaast spelen vele metalen, oxyden, sulfiden, sulfaten, seleniden als kleur- of hulpgrondstoffen een belangrijke rol. De invoering van deze veelsoortige nieuwe glascomponenten heeft geleid tot glassoorten met de meest uiteenloopende eigenschappen: optische, thermische, chemische zoowel als electrische.

Naast de optische industrie is geen bedrijf bij deze ontwikkeling der glasphysica en -technologie zoo gebaat geweest als juist de lampenfabricage.

Behalve aan een uitgebreide kennis van de eigenschappen van het glas in het broze en taai-vloeibare gebied, (het tempo van insmelten in de ballon van het binnenwerk van de lamp wordt immers bepaald door de snelheid, waarmee de ballon kan worden opgewarmd zonder te springen en door de tijd noodig, om de glazen deelen aan elkaar te smelten), heeft men bij de fabricage van lampen een groote behoefte aan verschillende glassoorten met uiteenloopende eigenschappen.

Gloei- en radiolampen, kwik-, natrium- en neonbuizen, röntgenbuizen vragen allen glassoorten met zeer bepaalde eigenschappen. Het gebruik der producten in de tropen eischt een groote chemische weerstand tegen vochtige warmte. Door de inwerking van natrium en kwik bij hooge temperatuur mag het in bepaalde gevallen niet veranderen. De isolatie van hooge electrische spanningen, dikwijls slechts op afstanden van enkele mm stelt hooge eischen aan het electrische geleidingsvermogen. Stroomtoevoerdraden van veelsoortige aard schrijven hooge of lage uitzettingscoëfficiënten voor. Daar-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Digitized by www.freeservicemanuals.info

naast wil men glassoorten hebben, die in bepaalde golflengtegebieden tusschen het infrarood en het gebied der röntgenstralen speciaal doorlaatbaar of speciaal absorbeerend zijn.

Meestal is het gelukt door de veelvuldige hulpmiddelen, die de glasfabricage tegenwoordig beheerscht, voor elk van deze eischen een bruikbaar glas te vervaardigen.

In dit overzicht zal aangegeven worden, welke eischen er al zoo gesteld worden en hoe daarvoor oplossingen zijn gevonden.

Het glas voor de gangbare gloei- en radiolampen

Meestal onderscheidt men hier in ballonglas en het glas voor het binnenwerk van de lamp.

Het ballonglas moet een goedkoop glas zijn en dus uit goedkoope grondstoffen bestaan. Daarbij moet zijn samenstelling zoo zijn, dat het gemakkelijk bij niet al te hooge temperatuur smelt, zonder teveel uitval te geven. Daar ballons tegenwoordig machinaal gemaakt worden, moet het daarvoor geschikt zijn. Het dient zich aan te passen aan het binnenwerk voor de lamp en daarmee, door versmelten in de vlam, gemakkelijk te verbinden zijn. Verder moet het helder zijn en mag het bij langdurige verwerking in de vlam niet ontglazen of verkleuren. Tegen vochtige warmte moet het voldoende bestand zijn.

Na deze opsomming zullen we op enkele van deze punten nader ingaan. Goedkoope glasvormende grondstoffen zijn, zooals reeds opgemerkt is, zand, soda en kalk. Het meer of minder gemakkelijk smelten van glas legt men meetbaar vast door de bepaling van het „verweekingspunt", d.i. de temperatuur, waarbij het glas een bepaalde viscositeit heeft. Opdat de viscositeit niet te groot is, wordt kalk gedeeltelijk vervangen door bariumoxyde of magnesium-oxyde. Helder glas krijgt men door uit te gaan van zuivere, ijzervrije grondstoffen. De neiging tot ontglazen is geringer, naarmate het glas uit meer componenten bestaat. Vooral gunstig werkt in dit opzicht Al_2O_3. Ofschoon glas in het algemeen goed bestand tegen verweeren is, zoo is de aantastbaarheid door water toch steeds niet te onderschatten en kan bijv. glas voor de tropen bestemd, door een langdurige zeereis totaal verweeren, terwijl het in ons klimaat goed blijft.

Deze aantasting is de oplossing van het alkalioxyde uit de oppervlakte van het glas. De verschijnselen, die bij deze verweering optreden, zijn de volgende:

1e stadium: algemeen beslag. Met water gemakkelijk afwaschbaar.

2e stadium: optreden van kristalletjes. In het algemeen nog met water afwaschbaar.

3e stadium: sterkere plaatselijke aantasting van het oppervlak. Gewoonlijk is dergelijk glas nog met fluorwaterstof te reinigen.

4e stadium: algemeene aantasting van de glasoppervlakte. Het glas kan als verloren worden beschouwd. (Open ballons na een langdurige zeereis in de tropen).

Het 1e en 2e stadium ontstaat door inwerking van water op de alkaliën van de glasoppervlakte. Met koolzuur uit de lucht vormt zich Na_2CO_3. Dit Na_2CO_3 lost op zijn beurt het kiezelzuur van het glas op (3e stadium), welk proces steeds verder voortschrijdt. (4e stadium).

Het schijnbaar vreemde verschijnsel, dat een lamp, die naar de tropen gaat, geen merkbare verweering ondergaat, terwijl toch de binnenkant van een open ballon totaal kan verweeren, moet gezocht worden in het verschil tusschen buitenkant en binnenkant door de bewerking. De eerste is door zijn vorming („Feuerpolitur") steeds bestendiger dan de binnenzijde.

Gelukkig kent men een eenvoudig middel om de weerstand van het glas tegen atmosferische invloeden niet onbeduidend te vergrooten. Door een warmtebehandeling van de ballon in een atmosfeer van zwaveldioxyde, wordt de bestendigheid namelijk belangrijk verbeterd. Door inwerking van SO_2 en zuurstof, vormt zich dan met het alkalioxyde uit de glasoppervlakte een laagje natriumsulfaat, hetwelk als een gemakkelijk met water afwaschbaar beslag op de ballon zit. Het achterblijvende alkali-arme glasoppervlak is nu belangrijk bestendiger dan het onbehandelde.

Laat men verdund fluorwaterstofzuur eenige tijd op dit oppervlak inwerken, dan komt de oorspronkelijke samenstelling van het glas weer te voorschijn en gedraagt het glas zich weer als voorheen (zie *fig. 2*). Bij ballons, die op bovenstaande wijze behandeld zijn, zal dus het gebruikelijke wasschen met fluorwaterstofzuur met eenige voorzichtigheid moeten worden toegepast.

De eischen, die men aan glas voor het binnenwerk van een lamp stelt, zijn de volgende.

Doordat de verhitting tijdens de versmelting van het binnenwerk van de lamp met de hals van de ballon van buitenaf geschiedt, wordt de ballon eerder warm. Men kiest nu voor het binnenglas een glas met lager verweekingspunt, zoodat binnen- en buitenglas op hetzelfde oogenblik zacht worden. Meestal is daarom het binnenglas een glas met een vrij groot gehalte aan lood. Daarnaast moet het

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

eenzelfde uitzettingscoëfficient hebben als de metaaldraden, die er door worden gevoerd. Electrisch dient het tenslotte aan zekere eischen te voldoen, wat het geleidingsvermogen betreft.

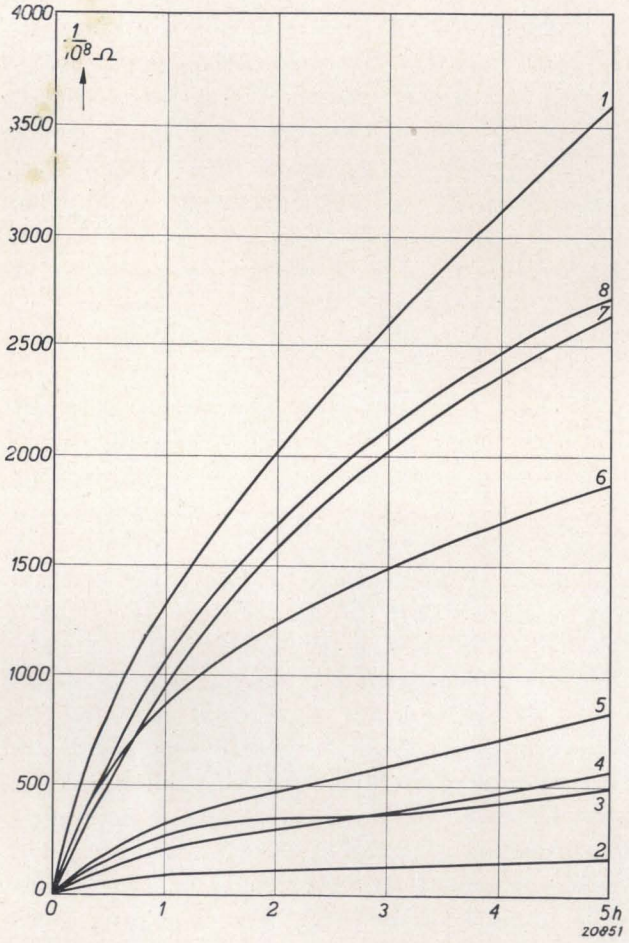


Fig. 2. Toename van de electrische geleidbaarheid van water, dat op 80 °C in aanraking met het glas is, als maat voor de aantasting. De weergegeven krommen stellen als functie van de tijd de toename voor van het electrische geleidingsvermogen van gedistilleerd water, waarmee de te onderzoeken ballon gevuld is.
1. normale ballon, *2.* zulke ballons behandeld in een stroom van SO_2, gewasschen met H_2O,
3. als *2*, maar gewasschen met 3 % HF gedurende ½ min,
4. „ *2*, „ „ „ 3 % „ „ 1 „ ,
5. „ *2*, „ „ „ 3 % „ „ 2 „ ,
6. „ *2*, „ „ „ 3 % „ „ 5 „ ,
7. „ *2*, „ „ „ 3 % „ „ 11 „ ,
8. „ *2*, „ „ „ 3 % „ „ 18 „ ,

In het algemeen behoort glas tot de beste electrische isolatiematerialen. De electrische weerstand W verandert met de temperatuur volgens de betrekking $\log W = A/T + B$, waarin A en B bij dezelfde samenstelling constant zijn. Deze betrekking geldt tot aan de ontspanningstemperatuur. Daarboven bestaat eenzelfde betrekking met andere waarden voor A en B. (zie fig. 1*b*).

Het geleidingsvermogen is electrolytisch en alkaliën, vooral de Na-ionen, fungeeren als dragers van de stroom.

Bij radio- en gloeilampen voor gelijkstroom treden soms na een lange brandtijd z.g. loodboomen op aan de — pool, gepaard met scheurtjes aan de + pool (*fig. 3*). Loodboomen zijn zwarte,

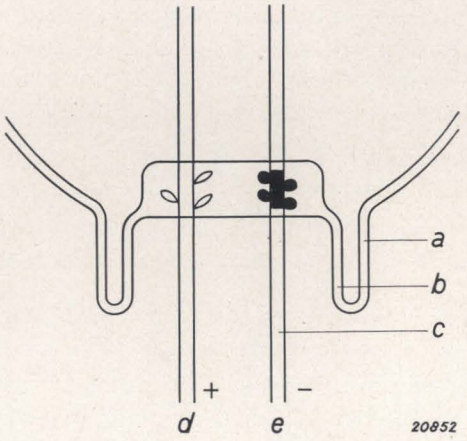


Fig. 3. Schematische voorstelling van het optreden van een „loodboom" bij een gelijkstroomgloeilamp.
a. ballon, *b.* brugje, *c.* doorvoerdraad, *d.* barsten aan de doorvoerdraad, die op positieve spanning staat, *e.* loodboom.

zeer sterk vertakte, verkleuringen in het glas vlak bij de pooldraad. De figuur doet wel eenigzsins zien, waarom men deze dikwijls grillige vormingen „boomen" noemt.

Dit verschijnsel vindt men onafhankelijk van de keuze van doorvoerdraad en het treedt op zoowel bij manteldraad, platina, ijzernikkel als chroomijzerdraad. Treedt in het glas geleiding op en zijn natriumionen de dragers van de stroom, dan moet dus de + pool natrium-armer worden. Naar men aanneemt zou daardoor een laagje glas met kleinere uitzettingscoëfficient kunnen ontstaan; hetwelk springen van het glas om de draad zou kunnen veroorzaken. Aan de — pool zou dan natrium vrijkomen en dit natrium zou PbO uit het glas tot lood kunnen reduceeren, dat in de vorm van een „loodboom" zou optreden. Nu zijn echter de hoeveelheden Na, die volgens het electrochemisch aequivalent vrijkomen, in een tijd van bijv. 1000 uur zoo gering (bij een stroom van 0,1 microampere ongeveer 0,07 mg), dat men moeilijk kan inzien, dat hierdoor sprong zou optreden.

Intusschen blijkt, dat men het verschijnsel in belangrijke mate kan onderdrukken door electrolytisch betere glassoorten te gebruiken, dat zijn glassoorten met grootere soortelijke weerstand bij de in aanmerking komende temperatuur.

De best isoleerende soorten glas zijn in het algemeen de loodglazen, die daarnaast ook door hun laag verweekingspunt aangewezen zijn als glas voor het binnenwerk van lampen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Vervangt men nu in een bepaald loodglas Na_2O door K_2O en/of verhoogt men het aan gehalte PbO, dan verkrijgt men glassoorten met een belangrijk hoogere weerstand en daardoor minder last van loodboom en sprong. Dit is gemakkelijk te verklaren uit de kleinere bewegelijkheid van de kaliumionen in vergelijking met die van natrium.

Ballonglas voor bijzondere doeleinden

A. Opaalglas. In dit glas wordt het licht verstrooid door ontglazing of uitscheiding van zeer kleine deeltjes. Het tegenwoordig vrijwel uitsluitend in aanmerking komende glas is een kryolietglas, waarbij NaF-deeltjes uitkristalliseeren, die het licht door buiging verstrooien. Dit glas is van nature brozer dan het normale glas en wordt daarom gewoonlijk als dubbel glas, van binnen bekleed met een laagje gewoon glas, uitgevoerd.

B. Gekleurd glas voor foto- of illuminatie-doeleinden. Gekleurde glazen kan men op twee manieren verkrijgen:

1e door werkelijke (moleculaire) kleuring met verschillende kleuroxyden, zooals koperoxyde, cobaltoxyde, nikkeloxyde, chroomoxyde of ijzeroxyde.

2e door colloïdale kleuring.

Is bij de eerste manier van kleuren het glas, als het uit de taai-vloeibare phase stolt, onmiddellijk gekleurd, bij de colloïdale kleuring moet het glas een thermische nabehandeling in de buurt van het verweekingspunt ondergaan, om het zichtbaar worden van de submicroscopische deeltjes te doen plaats vinden. De hiervoor in aanmerking komende kleurstoffen zijn: goud, seleen, cadmiumsulfide, (selectiva glas voor auto- en fietslampjes), koper (het glas van lampen voor de donkere kamer).

In het algemeen is de glastechniek in de keuze van de kleurstoffen vrij beperkt. In de laatste tijd is men er in geslaagd, door invoering van zekere zeldzame aarden, glassoorten te maken met vrij scherpe absorptiebanden in hetzelfde golflengtegebied, waar de zouten van deze elementen opgelost in vloeistoffen scherpe absorptielijnen vertoonen. Zoo geeft bijv. het neodymiumoxyde een vrij volledige absorptie in het geel, zonder andere kleuren te absorbeeren.

C. Ballons van zg. hardglas, waarbij ook het binnenwerk van ditzelfde glas gemaakt wordt. (projectielampen enz.).

Wordt de temperatuur van de gloeidraad in de lamp hooger of is men om de een of andere reden op een constructie aangewezen, waarbij het glas op een hoogere temperatuur komt, dan kan het glas zoo warm worden, dat het opblaast, of zoo het niet bezwijkt, kan het door de groote en snelle temperatuurswisseling bij het aan- en uitgaan, gemakkelijk springen. De eischen, die men dan ook aan glas voor deze toepassingen moet stellen, zijn de volgende:

a) het glas moet een hooger verweekingspunt hebben dan normaal glas. Dit kan men in het algemeen bereiken door het alkali-gehalte te verlagen.

b) het glas moet een groote bestendigheid tegen veranderingen van de temperatuur bezitten. Deze thermische weerstand is van vele factoren afhankelijk, zoowel thermische als mechanische.

Winkelmann en Schott hebben in 1894 door theoretische beschouwingen voor deze thermische weerstand F, die men proefondervindelijk kan bepalen door het glas plotseling op hooge temperatuur te brengen en dan zoo te zien, welke temperatuurverschillen het kan verdragen, de volgende betrekking gegeven:

$$F = \frac{T}{\alpha E}\sqrt{\frac{\lambda}{S\,C}}\,,$$ waarin:

F = thermische weerstand, λ = warmte geleidingsvermogen, T = trekvastheid, α = uitzettingscoëfficient, S = soortelijk gewicht, E = elasticiteitsmodulus, C = soortelijke warmte.

Deze formule van Winkelmann en Schott is gebleken niet geheel juist te zijn. Inderdaad is de thermische weerstand van glas in hoofdzaak bepaald door de uitzettingscoëfficient. Hoe kleiner deze is, hoe grooter temperatuurveranderingen het glas verdraagt (kwartsglas). De grondstoffen, die de uitzettingscoëfficient verlagen zijn SiO_2 en B_2O_3, terwijl de alkaliën sterk verhoogend werken.

Voor de verschillende glasvormende oxyden kent men in het gebied der hoeveelheden, waarin ze gewoonlijk gebruikt worden, de gegevens waarmede men vrij juist verschillende physische constanten van een glas, zooals de uitzettingscoëfficiënt, de elasticiteitsmodulus, het soortelijk gewicht en de soortelijke warmte kan berekenen, indien men de samenstelling kent. De genoemde eigenschappen veranderen namelijk in het algemeen lineair met de hoeveelheid van het toegevoegde oxyde. Dit is geheel in overeenstemming met de opvatting, dat het glas een oplossing is van silicaten in kiezelzuur.

De boro-silicaten gedragen zich in dit opzicht echter niet zooals men zou verwachten, de uitzettingscoëfficiënt verandert namelijk niet evenredig met de hoeveelheid van de componenten. Heeft men bijv. een glas met a % Na_2O, x % SiO_2 en $(100—a—x)$ % B_2O_3, dan is er voor een bepaalde

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

verhouding SiO_2 : B_2O_3 een minimum in de uitzettingscoëfficiënt. Eveneens is er bij een constant gehalte aan kiezelzuur weer een vrij scherp minimum bij een bepaalde verhouding Na_2O : B_2O_3.

Bij de samenstelling van een glassoort voor projectielampen, die met groote stroomsterkten en hooge glastemperaturen werken, moet men hiermede rekening houden. De uitzettingscoëfficiënt moet namelijk zoodanig zijn, dat het glas aangepast is aan de in te smelten metaaldraden, waarvoor hier wolfraam, molybdeen en ijzernikkellegeeringen gebruikt worden.

Glas voor ontladingsbuizen

Hetgeen we tot dusver mededeelden, gold in hoofdzaak voor de gloeilampen met of zonder gasvulling, en ook voor radiolampen waarin goede isolatie van het glas en dikwijls ook bestendigheid tegen hooge temperaturen (glazen zendlampen) wordt gevraagd.

De moderne *gasontladingslampen* en *buizen* hebben in hun veelvuldige uitvoeringsvormen daarnaast een aantal nieuwe problemen gesteld.

Gaat het om glas voor *lagedruk neonbuizen*, zooals men die veel voor reclameverlichting ziet, dan behoeft slechts gezorgd te worden, dat het glas niet in de blaasvlam verkleurt. Deze ontkleuring ontstaat door reductie van enkele glasoxyden, zooals loodoxyde, arseenoxyde of antimoonoxyde. Deze mogen dus in het glas niet voorkomen. Is in zulke buizen *kwik* aan het neon toegevoegd, dan kan door de inwerking van het kwikion na eenige tijd het glas zwart worden. De glassoorten met grootere electrische weerstand zijn proefondervindelijk voor dit doel gunstig gebleken. Loodglassoorten zouden dus in aanmerking komen, indien deze niet in de vlam verkleurden. Bij uitstek geschikt bleken barietglazen te zijn.

Wil men het rendement van zulke lichtbronnen verhoogen door de ultraviolette straling van de ontlading met behulp van *fluorescentie* in zichtbaar licht om te zetten, dan gebruikt men fluoresceerend glas, dat meestal een kleine hoeveelheid van bepaalde metalen bevat, zooals bijv. uraan.

Een belangrijk probleem is de doorlaatbaarheid voor verschillende golflengten. In het *zichtbare gebied* der straling hebben we de mogelijkheden, die de glastechniek kent, reeds besproken. Daarnaast is het *ultraviolet* belangrijk. *Kwartsglas* laat het geheele gebied der ultraviolette straling door tot 1850 Å). Daarnaast is het echter mogelijk gebleken *normale glassoorten* te maken, die voldoende doorlatend zijn in het ultraviolet der zonnestraling, terwijl ze de kortere, voor de huid schadelijke golven vrijwel geheel absorbeeren. Een der voornaamste eischen voor de bereiding van deze glassoorten is een negatieve, namelijk het ontbreken van ferri-ijzer en titaan, terwijl SiO_2, B_2O_3, P_2O_5 de beste ultraviolet doorlatende glasoxyden zijn. Indien deze glassoorten slecht gefabriceerd zijn, loopt de doorlaatbaarheid door inwerking van het ultraviolet vrij snel terug tengevolge van oxydatie van ferro- tot ferri-ijzer. Met behulp van nikkeloxyde kan men een glas verkrijgen, dat in het zichtbare gebied vrijwel alle stralen absorbeert en vooral voor het ultraviolet van groote golflengten doorlaatbaar is. Dit glas wordt toegepast in lampen, waarmee men fluorescentie van stoffen wil onderzoeken zonder daarbij door zichtbare straling van de lamp te worden gehinderd. Omgekeerd kan men met tweewaardig ijzer een licht blauwgroen glas verkrijgen, hetwelk sterk absorbeert in het infrarood en het zichtbare licht vrijwel onverzwakt doorlaat. Dit wordt als warmte absorbeerend glas toegepast.

Voor de samenstelling van glassoorten, die *röntgenstralen* doorlaten of absorbeeren, kan de bekende regel, dat de absorptie toeneemt met het atoomnummer van de componenten, als leiddraad dienen. Hoe lichtere oxyden men gebruikt, hoe meer doorlatend het glas is. Het bekende Lindemann glas is bijv. een lithium-beryllium-boraat. Glassoorten met een groot gehalte aan lood dienen ter bescherming tegen röntgenstralen, daar zij deze niet doorlaten.

Het uiterst actieve *natrium*, dat in natriumlampen gebruikt wordt, tast de normale silicaatglazen sterk aan, met het gevolg, dat na zeer korte tijd bruinkleuring van het glas door reductie van kiezelzuur tot silicium en daardoor achteruitgang van de lichtopbrengst plaats heeft. Boorzuur is beter bestand tegen reductie dan kiezelzuur. Zoo zijn dan ook boraatglazen bestendiger tegen natrium dan silicaat glassoorten. Helaas zijn echter deze boraatglazen in water of zuren oplosbaar, zoodat het glas op de gewone wijze als ballon niet te gebruiken is. In de vorm van email of op andere wijze kan het als dunne laag in een ballon of buis van normaal glas gebracht worden.

In de *hoogedruk ontladingsbuizen* met een kwikdampvulling brengt de hooge druk en temperatuur mede, dat een der eerste eischen aan een glas voor dergelijke lampen te stellen een hoog verweekingspunt is. De eenige glassoorten, die daarvoor in aanmerking komen, hebben een flink gehalte aan aluminiumoxyde en zijn practisch alkalivrij. Slechts in de beste ovens is het mogelijk een dergelijk glas te smelten: de eischen liggen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

aan de grens van de normale glastechniek.

Wordt de druk van het kwik nog hooger opgevoerd, dan is er voorloopig nog slechts één glas voldoende; hiervoor is nl. helder kwartsglas het eenig bruikbare.

Slotopmerkingen

Om aesthetische redenen, en ook om de kans op springen klein te maken, moet glas vrij zijn van dikwijls voorkomende glasfouten, zooals blaasjes, slieren of steentjes.

Zooals in de inleiding werd gezegd, heeft het vormgeven van het glas plaats in de taai-vloeibare toestand. De meest gebruikelijke vorm is het blazen, hetzij met de mond of machinaal in een ijzeren vorm.

Uit deze bereidingswijze volgt reeds de moeilijkheid om bij glazen voorwerpen aan nauwkeurige maatvoorschriften te voldoen. Immers door het blazen wordt wel de uitwendige diameter vastgelegd, maar de inwendige diameter, afhankelijk van de gebruikte hoeveelheid en verdeeling van het glas, blijft altijd een teer punt. De nabewerking van glas is door zijn groote hardheid en brosheid steeds moeilijk en tijdroovend, zoodat het bij glasconstructies in het algemeen aanbeveling verdient slechts van zulke uitvoeringsvormen gebruik te maken, waarbij de inwendige diameter binnen wijde grenzen mag schommelen. Heeft het voorwerp slechts geringe hoogte en is het lossend, dan kan de vormgeving door persen plaats vinden, waardoor vrijwel op kaliber kan worden gewerkt.

PRAKTISCHE TOEPASSINGEN VAN RÖNTGENOGRAFISCH MATERIAAL-ONDERZOEK X

door W. G. BURGERS.

In dit artikel wordt een voorbeeld besproken, waarbij evenals in het vorige artikel [1]), verschillende toestanden van eenzelfde materiaal langs röntgenografische weg onderscheiden worden.

22. Beoordeeling der kwaliteit van nikkelijzerband voor Pupinspoelen

Het in dit laboratorium uitgewerkte kernmateriaal voor Pupinspoelen bestaat uit dun gewalst nikkelijzerband, hetwelk volgens nevenstaand schema uit het uitgangsmateriaal (band van eenige mm dikte) gefabriceerd wordt [2]):

Uitgangsmateriaal:
(band van eenige mm dikte)
↓ walsen tot
gewalst band van 0,1 mm dikte:
↓ rekristalliseeren bij 1100 °C tot
gerekristalliseerd band van 0,1 mm dikte:
↓ walsen tot
gewalst band van 60 μ dikte:
↓ nagloeien op een temperatuur in de buurt van 400 °C
Eindmateriaal.

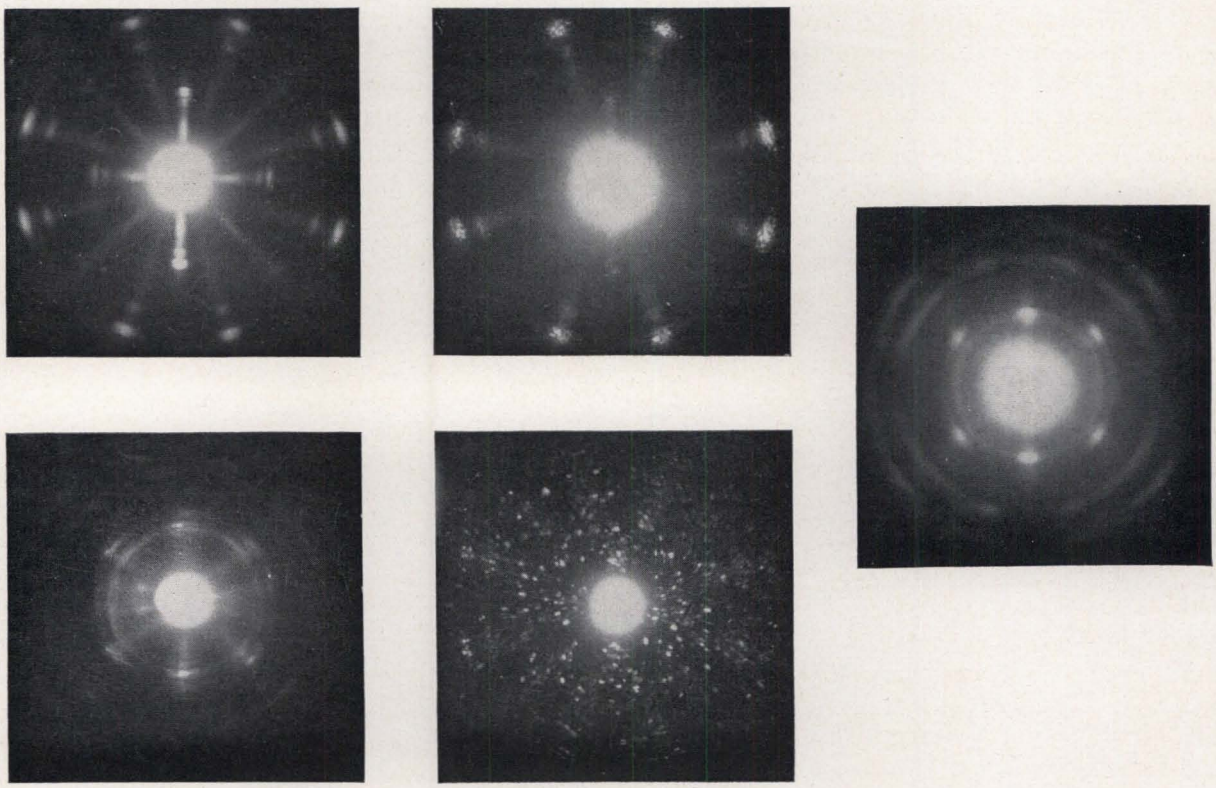
[1]) No. IX van deze serie Philips techn. T. **2**, 29, 1937.

[2]) Zie het artikel van W. Six, Philips techn. T. **1**, 357, 1936.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Bij het uitwerken van dit fabricageproces werd eindmateriaal van zeer verschillende kwaliteit, wat betreft de optredende hystereseverliezen, verkregen. Aangezien de mogelijkheid bestond, dat dit met verschillen in de ligging der kristallieten in het materiaal samenhing [3]), werden röntgenfoto's van goed en slecht materiaal vervaardigd.



Röntgenfoto's van nikkelijzerband voor kernen van pupinspoelen in verschillende stadia van het fabricageproces.

Fig. 1. Eindmateriaal*)
a) Band met gering hysteresiseverlies: viertallig symmetrisch interferentie patroon, toe te schrijven aan een zeer bepaalde voorkeurstand der kristallieten in het band (zg. kubusstand).

b) Band met groot hysteresiseverlies: interferentie ringen meer of minder volledig aanwezig; hieruit volgt, dat de kristallieten geen zeer uitgesproken voorkeursstand innemen.

Fig. 2. Uitgangsmaeriaal tot op 0,1 mm gewalst en daarna gerekristalliseerd.

a) levert bij verder uitwalsen Pupinband met gering hysteresiseverlies (vgl. fig. 1*a*).

b) levert bij verder uitwalsen Pupinband met groot hysteresiseverlies (vgl. fig. 1*b*).

Ook in deze toestand onderscheiden zich beide materialen in hun röntgenfoto's van elkaar op overeenkomstige wijze als dit bij het eindmateriaal het geval is.

Fig. 3. Uitgangsmateriaal tot op 0,1 mm gewalst en nog niet gerekristalliseerd.
In dit stadium levert het materiaal een foto als de weergegevene, onafhankelijk van het feit, of bij verdere bewerking Pupinband met hoog of met laag hysteresisverlies wordt verkregen.

*) In alle foto's verloopt de walsrichting horizontaal.

Fig. 1a vertoont een röntgenfoto van het eindmateriaal. De foto is verkregen door het band in een richting loodrecht op het oppervlak te doorstralen, zoodat het bandvlak evenwijdig aan de fotografische film was opgesteld. De walsrichting verloopt in de foto horizontaal. Uit het zeer regelmatige, met groote benadering viertallig symmetrische patroon van stippen en lijnen kan worden afgeleid, dat de regulaire nikkelijzerkristalletjes in het band op zeer bepaalde wijze gerangschikt liggen, namelijk zoodanig, dat een zijvlak der elementaire kubus in het bandvlak ligt, terwijl de kanten van dit zijvlak evenwijdig aan en loodrecht op de walsrichting verloopen. Een gedetailleerde analyse der foto leert, dat de kristalletjes met een geringe verstrooiïng om deze zg. „kubusstand" verspreid liggen.

Dat het optreden der kubusstand voor de kwaliteit van het Pupinband essentieel is, blijkt uit fig. 1*b*, welke een overeenkomstige foto van het materiaal met groot hystereseverlies laat zien:

[3]) Zie het artikel van J. L. Snoek in deze aflevering, blz. 77.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

de interferentiecirkels zijn hier over hun geheele omvang meer of minder gelijkmatig gezwart, een voorkeuroriëntatie der kristallieten kan dus slechts in geringe mate aanwezig zijn en is in elk geval, zooals uit het ontbreken van eenig viertallig symmetrisch patroon in de foto volgt, volkomen afwijkend van de kubusstand. De röntgenfoto maakt dus zeer waarschijnlijk, dat de merkwaardige magnetische eigenschappen van het materiaal samenhangen met een bepaalde voorkeursligging der kristalletjes.

Het was van belang te weten, in welk stadium van het fabricageproces de kubusstand ontstaat. Hiertoe werden röntgenfoto's genomen van het materiaal in tusschenstadia. Het blijkt daarbij in de eerste plaats, dat van het niet nagegloeide 60 μ-band dezelfde beelden verkregen worden als van het eindmateriaal, hetgeen niet verwonderlijk is, aangezien de temperatuur van het nagloeien zoo laag is, dat geen nieuwe kristallen gevormd worden.

De bij het op 0,1 mm gewalste en daarna bij 1100° gerekristalliseerde band behoorende foto's zijn in *fig. 2, a* en *b*, weergegeven: daarbij heeft foto 2*a* betrekking op materiaal, dat bij verdere bewerking pupinband met gering hystereseverlies geeft, overeenkomende met foto 1*a*, terwijl foto 2*b* op analoge wijze met foto 1*b* samenhangt en voor materiaal met uiteindelijk groot hystereseverlies karakteristiek is.

Het blijkt nu, dat ook in deze toestand het verschil tusschen beide materiaalsoorten reeds onmiskenbaar is: Fig. 2*a* toont een zeer duidelijk viertallig symmetrisch patroon, de interferentiestippen zijn, nog in sterkere mate dan in foto 1*a* van het op 60μ uitgewalste eindmateriaal het geval is, in enkele groepjes opgehoopt. De foto wijst dus op de aanwezigheid van een uitgesproken kubusstand in het gerekristalliseerde band, welke bij het uitwalsen op 60 μ hoogstens een weinig aan scherpte van instelling heeft ingeboet, practisch echter behouden is gebleven.

Daarentegen liggen de stippen op foto 2*b* bijna over de geheele film verspreid (bij nauwkeurige beschouwing is mogelijk nog een spoor van het op foto's 1*a* en 2*a* zoo karakteristieke viertallige patroon te herkennen): de kristalletjes in dit materiaal vertoonen praktisch geen voorkeur voor bepaalde standen.

In dit stadium kan dus reeds langs röntgenografische weg goed materiaal van slecht onderscheiden worden: daarbij kan men zich met eenige oefening uit de scherpte van het viertallig symmetrisch patroon een oordeel vormen over de kwaliteit.

In een nog vroeger stadium van het fabricageproces blijkt dit niet meer mogelijk te zijn: *Fig. 3* toont een foto van het op 0,1 mm gewalste band, vóór het rekristalliseeren bij 1100°. In deze toestand geeft het goede band van foto's 1*a* en 2*a* practisch dezelfde diagrammen als het slechte band van foto's 1*b* en 2*b*, en ontstaat een foto als de weergegevene, onafhankelijk van het feit of bij verdere bewerking Pupinband met klein of met groot hystereseverlies wordt verkregen.

Als eerste voor röntgenografische controle van het fabricageproces geschikte toestand van het materiaal komt dus het op 0,1 mm dikte gewalste en dan gerekristalliseerde band, in aanmerking. Nader onderzoek heeft daarbij geleerd, dat de kubusstand hiervan des te scherper wordt, naarmate de dikte afname, welke toegepast moest worden om het uitgangsmateriaal tot op 0,1 mm uit te walsen, grooter is.

Het is wel zeer opmerkelijk, dat twee materialen, welke röntgenografisch geen verschil vertoonen (zie fig. 3), bij dezelfde warmtebehandeling geheel verschillend rekristalliseeren. Dit moet beteekenen, dat het rekristalliseeren afhangt van een eigenschap, welke in het röntgenbeeld van het vervormde materiaal niet tot uiting komt. Misschien is dit hieraan toe te schrijven, dat bij rekristallisatie de nieuwe kristallieten ontstaan op de sterkst vervormde plaatsen (vgl. het bij voorbeeld 20 in artikel IX dezer serie hierover opgemerkte), waarbij de wijze, waarop het rekristallisatieproces zich voltrekt, waarschijnlijk nauw samenhangt met de aard hunner vervorming. Op roosterplaatsen, welke sterk vervormd zijn, zal echter geen, of in elk geval slechts een zeer sterk verzwakte, interferentie tusschen de verstrooide stralen optreden: dientengevolge is het mogelijk, dat juist deze plekken in het vervormde materiaal zich in het röntgenbeeld niet kenbaar maken: a fortiori zullen dus verschillen in de aard der storingen, welke een verschillend verloop der rekristallisatie tengevolge kunnen hebben, in het walsbeeld van fig. 3 niet tot uiting behoeven te komen.

Digitized by www.freeservicemanuals.info

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

No. 1136*: R. Houwink: Synthetic Resins, their formation, their elastic and plastic properties and their possibilities (J. Soc. chem. Ind. **55,** 247 - 259, Sept. 1936).

In deze voordracht voor de jaarvergadering der Society of Chemical Industry te Liverpool is een samenvatting gegeven van de wijzen, waarop harsvorming kan plaatsgrijpen speciaal met het oog op:

1) de chemische aard van de reacties, waarbij eenige resultaten van recente onderzoekingen over de kinetica van reacties werden medegedeeld;
2) de colloïdale bouw van lineaire en drie-dimensionale polymerisatieproducten in hun verschillende stadia van ontstaan;
3) de plastische en elastische eigenschappen van harsen in verband met hun polymerisatietoestand.

Getracht werd een verband te leggen tusschen de veranderingen in elastische en plastische deformeerbaarheid en die in de colloïdale bouw der harsen, zooals kan worden verwacht op grondslag van de gangbare chemische theorieën betreffende polymerisatie-reacties.

No. 1137*: J. R. J. van Dongen: Ermittlung der zulässigen Schnittgeschwindigkeit aus Plandrehversuchen (Stahl und Eisen **56,** 1185 - 1187, Sept. 1936).

Aangezien reeds in eenige voorafgaande nummers van dit tijdschrift artikelen over de beteekenis van de zg. schijfproef werden opgenomen (Philips techn. T. **1,** 183 en 200, 1936), willen wij liever daarnaar verwijzen.

No. 1138*: R. Vermeulen: Modellen voor de studie van zaalacoustiek (Bouwkundige Bladen **1,** No. 8, Sept. 1936).

De bespreking van het gebruik van modellen bij het bestudeeren der zaalacoustiek, die in Philips techn. T. **1,** 46, Febr. 1936 geschiedde aan de hand van het geval van de Schouwburgzaal in het Philips' Ontspanningsgebouw te Eindhoven, gebeurt in dit artikel aan de hand van het geval van het Volkenbondsgebouw te Genève.

No. 1139: J. A. M. van Liempt und J. A. de Vriend: Die Farbenwiedergabe beim Photographieren mit Natrium- und Quecksilberlicht (Photogr. Korresp. **72,** 142 - 144, Oct. 1936).

In dit artikel wordt aangetoond, dat de weergave der kleuren door natriumlicht, welke op zichzelf reeds goed mag worden genoemd, nog verbeterd kan worden door dit natriumlicht te mengen met een geschikte hoeveelheid gloeilampenlicht of kwiklicht. (Vgl. Philips techn. T. **2,** 24, Jan. 1937).

No. 1140*: P. J. Bouma: Verblinding (Natuur en Mens **56,** 217 - 221, Oct. 1936).

Voor de strekking van dit artikel kan worden verwezen naar de door denzelfden schrijver in Philips techn. T. **1,** 102 en 225, 1936 geleverde artikelen over problemen in verband met de wegverlichting.

No. 1141: F. A. Heyn: Evidence for the expulsion of two neutrons from copper and zinc by one fast neutron (Nature **138,** 723, Oct. 1936).

Bij beschieten van koper en zink met neutronen ontstaan er radio-actieve isotopen van deze elementen, die niet volgens een der bekende processen gevormd kunnen zijn. Uit de aard der door deze actieve stoffen geëmitteerde deeltjes en uit het feit, dat deze reacties optreden met snelle neutronen, kan de schrijver concludeeren, dat men in zijn geval te maken heeft met het uitwerpen van twee neutronen onder invloed van het beschieten met een snel neutron, dat door de kern wordt opgenomen.

---

*) Van publicaties gemerkt met * is geen voor verspreiding voldoend aantal overdrukken beschikbaar. Van de andere publicaties verstrekt de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, op aanvraag gaarne overdrukken.

Digitized by www.freeservicemanuals.info
Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!